

Научно-методическое обеспечение  
реставрационной отрасли

Н. Л. Ребрикова



# Защита памятников культуры от повреждений микроорганизмами

*Учебное пособие*

В пособии рассматриваются вопросы микробиологической безопасности музейных и библиотечных фондов. Представлены методы микологических исследований памятников искусства и культуры. Особое внимание уделено исследованию экстремально ксерофильных форм микроскопических грибов. Дана оценка биостойкости реставрационных материалов.

Издание предназначено для музейных работников, реставраторов, хранителей, студентов учебных заведений, готовящих реставраторов и хранителей музейных коллекций.

Защита памятников культуры от повреждений микроорганизмами

Н. Л. Ребрикова

**ЗАЩИТА  
ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ  
ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ  
МИКРООРГАНИЗМАМИ**

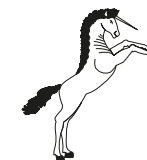
*Учебное пособие*

Министерство культуры Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
научно-исследовательское учреждение  
«Государственный научно-исследовательский институт реставрации»

Н. Л. Ребрикова

**ЗАЩИТА  
ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ  
ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ  
МИКРООРГАНИЗМАМИ**

*Учебное пособие*



МОСКВА «ИНДРИК» 2025

Утверждено и рекомендовано к печати  
Ученым советом  
Федерального государственного бюджетного  
научно-исследовательского учреждения  
«Государственный научно-исследовательский  
институт реставрации»

Редактор: *И.В. Лебедева*

**Ребрикова Н. Л.**

**Защита памятников культуры от повреждений микроорганизмами.**

Учебное пособие. — М.: Индрик, 2025. — 96 с.

ISBN 978-5-60509-072-4

В пособии рассматриваются вопросы микробиологической безопасности музейных и библиотечных фондов. Представлены методы микологических исследований памятников искусства и культуры. Особое внимание уделено исследованию экстремально ксерофильных форм микроскопических грибов. Дана оценка биостойкости реставрационных материалов.

Издание предназначено для музейных работников, реставраторов, хранителей, студентов учебных заведений, готовящих реставраторов и хранителей музейных коллекций.

*Автор:*

Наталья Львовна Ребрикова,  
кандидат биологических наук,

зав. Лабораторией биологических исследований ГОСНИИР.

ISBN 978-5-60509-072-4

© ФГБНИУ «ГОСНИИР», 2025  
© Ребрикова Н.Л., 2025  
© Издательство «Индрик», 2025

## Содержание

Введение .....	7
1. Повреждение памятников микромицетами .....	9
1.1. Введение .....	9
1.2. Микроскопические (плесневые) грибы, повреждающие памятники .....	10
1.3. Повреждение станковых живописных произведений микроскопическими (плесневыми) грибами .....	16
а). Факторы деструкции, особенности роста .....	16
б). Псевдопроявления роста грибов на живописи .....	19
1.4. Условия хранения, исключающие возможность роста грибов..	23
2. Музейные и библиотечные фондохранилища – экологическая ниша для экстремально ксерофильных грибов.....	25
2.1. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музейных фондах.....	25
2.2. Механизм устойчивости грибов к пониженному водному потенциалу.....	31
2.3. Экстремально ксерофильные грибы – настоящая или мнимая причина образования фоксингов.....	33
2.4. Микроклиматические параметры, провоцирующие рост грибов-ксерофилов в музейных и библиотечных фондах .....	41
3. Ксерофильные формы грибов, обнаруженные на стенописи XII века в Спасском храме Спасо-Евфросиниевского монастыря.....	49
4. Культуральные, молекулярно-генетические, биолюминесцентные методы исследования произведений искусства, поврежденных или предположительно поврежденных микроскопическими грибами. Необходимость сочетания разных методов исследования.....	60
5. Мониторинг численности микроорганизмов на стенописи Рождественского собора Ферапонтова монастыря методом люминесцентного анализа .....	64
5.1. Введение .....	64
5.2. Методы исследования.....	65
5.3. Результаты мониторинга .....	67
5.4. Модификация метода биолюминесцентного анализа поверхностей для анализа деструктированных строительных материалов .....	73

6. Биостойкость реставрационных материалов. В каких ситуациях необходимы средства защиты .....	75
7. Способы антимикробной обработки памятников, используемые в музейной практике в настоящее время .....	85
Заключение .....	89
Список использованных источников .....	91
Список сокращений .....	94

## Введение

С момента выхода в свет книги «Биология в реставрации»<sup>1</sup> и пособия «Руководство по диагностике микробиологических повреждений памятников искусства и культуры»<sup>2</sup> прошло много лет. Они содержат информацию, которая не утратила актуальности и на сегодняшний день. Но за прошедшее время появились новые интересные данные, особенно касающиеся роста грибов экстремальных ксерофилов, механизм устойчивости которых отличается от механизма устойчивости галофильных бактерий и архей. Получены новые доказательства отсутствия связи между фоксингами и грибами-ксерофилами.

Ставшие доступными логгеры температуры и влажности позволили выявлять в запасниках влажностные карманы – экологические ниши для роста экстремальных ксерофилов в музейных фондах, а анемометры, измеряющие небольшие скорости движения воздуха, – образование застойных зон. Близкая к нулю или нулевая подвижность воздуха способствует появлению температурных и влажностных неоднородностей в запасниках музеев и интерьерах памятников архитектуры, что ведет к образованию влажностных карманов и развитию в них экстремальных ксерофилов. В результате смогли объяснить развитие грибов-микроскопических в запасниках, в которых параметры микроклимата, в местах их регистрации, не превышали допустимые.

Появилась возможность применения цифровых микроскопов для визуализации развития микроколоний грибов *in situ* на вертикальных поверхностях и поверхностях с большим углом наклона, которые внесли и вносят вклад в обследование памятников, особенно с настенной живописью. Благодаря использованию новой технологии колонии ксерофилов были обнаружены на стенописи XII века.

Получили распространение новые методы исследования разнообразия микроорганизмов, присутствующих на памятниках и в окружающей их среде. С помощью метагеномного анализа микробиоты исследовано все разнообразие микроорганизмов на выдающихся памятниках искусства. «Омиксные методы» революционизировали исследования не только в области биоповреждений памятников культуры, но и в истории их бытования, в определении природы материалов памятников. Рассмотрены примеры применения молекулярно-генетических методов исследования, биолюминесцентного метода определения количества АТФ в пробе, а также традиционных – микроскопного и культурального методов исследования произведений искусства, поврежденных или предположительно поврежденных

<sup>1</sup> Ребрикова Н.Л. Биология в реставрации. – М., 1999.

<sup>2</sup> Ребрикова Н.Л. Руководство по диагностике микробиологических повреждений памятников искусства и культуры. – М., 2008.

микроскопическими грибами. Показана необходимость сочетания разных методов исследования, что дает возможность правильной интерпретации полученных результатов.

Раздел, связанный с исследованием биостойкости реставрационных материалов и ситуаций, когда они нуждаются в ее повышении, содержит анализ биостойкости глитиновых клеев отечественного и зарубежного производства, используемых в настоящее время в практике реставрации.

В последнее время изменились взгляды на необходимость антимикробной обработки памятников даже при отсутствии показаний для обработки, а в случае доказанной необходимости предлагается использование только экологически дружественных антимикробных средств. Доминирующими подходами стали превентивная консервация и «зеленые» технологии. В результате возникла необходимость в систематизации и обобщении этих новых данных.

## 1. Повреждение памятников микромицетами

### 1.1. Введение

**Н**а памятниках истории и искусства, за исключением отдельных случаев, всегда присутствует то или иное количество клеток микроорганизмов. Большинство материалов, из которых они выполнены, могут использоваться микроорганизмами. Тем не менее, мы знаем примеры уникальной сохранности легко уязвимых органических материалов, возраст которых иногда исчисляется тысячами лет. Они находились в условиях, при которых присутствующие на них жизнеспособные клетки микроорганизмов были в состоянии покоя (низкий уровень метаболической активности) или анабиоза (практически полное отсутствие метаболической активности). Этими условиями являются: постоянно низкая температура (находки сохранившихся туш мамонтов в вечной мерзлоте), недостаток кислорода (дерево, кожа в заболоченных почвах; деревянные сваи во влажных грунтах), недостаток воды или постоянство климатических параметров при пониженной температуре (пещерная живопись эпохи палеолита).

Регулирование уровня и влажности, и температуры, несомненно, является одним из самых древних и важных способов предупреждения повреждения памятников микроорганизмами. Высушивание, засаливание, засахаривание, пропитывание смолами, проветривание, замораживание использовались с незапамятных времен. Приведу лишь одну цитату из «Иконописного подлинника Никодима Сийского» XVII века, в котором технические наставления по иконописи начинаются со слов: «О необходимости проветривания каменных и деревянных церквей, кои затворены бывают в зимнее время, и когда их потребно от зимы просушивать... Марта месяце... церковные окна в ясные ведреные дни... в 3-м часу отворяти и за два часа до вечера затворяти. Ветрами вешними всякие вещи, сиречь церковные потребы зело зело сушити и холод из церкви изводить. А егда дождь и тепло велие... тогда церковь и окна затворяти и отпоти в церкви не будет, и никоего повреждения, ниже тления церковным вещам. А когда буде мокро на иконах явится, сиречь отпотеть от воздушных теплоты, губою мягкою гречкою или платом чистым мягким белым излехка мокроту отирати»<sup>3</sup>.

Защита коллекций от повреждения микроорганизмами – одно из направлений деятельности музейных хранителей и консерваторов, занимающихся вопросами превентивной консервации. В круг

<sup>3</sup> Иконописный подлинник Никодима Сийского. Последняя четверть XVII в. // Свод письменных источников по технике древнерусской живописи, книжного дела и художественного ремесла в списках XV–XIX вв. / Сост. Ю.И. Гренберг. В 2-х т. – СПб., 1995. Т. 1. Кн. 1. С. 207–224.

этих вопросов входит создание и поддержание условий хранения, максимально тормозящих процессы старения памятника, и защита его от повреждений, несвязанных с процессами естественного старения.

### 1.2. Микроскопические (плесневые) грибы, повреждающие памятники

В силу меньшей требовательности к уровню влагосодержания субстрата по сравнению с другими микроорганизмами, например, актинобактериями и другими гетеротрофными бактериями, широкой субстратной специфичности, олиготрофности многих видов, микроскопические грибы чаще всего обнаруживаются на экспонатах и оборудовании при нарушениях условий хранения. На влажных строительных материалах в экспозиционных залах и запасниках грибы часто развиваются в ассоциациях с актинобактериями и другими гетеротрофными бактериями.

Микроскопические грибы – это разнородная в систематическом отношении группа грибов, насчитывающая большое количество видов. Главные признаки микроскопических грибов, колонии которых, видимые невооруженным глазом, обычно называют *плесенью*, а сами грибы – *плесневыми*, – это отсутствие хлорофилла и зависимость от готового органического вещества. При благоприятных для них условиях они могут развиваться и на неорганических материалах, используя органические вещества, содержащиеся в пыли, загрязнениях различного происхождения, и даже летучие органические соединения.

Олиготрофные виды грибов развиваются на субстратах, содержащих очень небольшое количество органических веществ (ил. 1).

Вегетативное тело микроскопических грибов, носящее название *мицелий*, состоит из ветвящихся тончайших нитей – *гиф*, которые разрастаются по поверхности предмета, а частично внедряются в него. Поверхностный мицелий образует либо неокрашенные, либо окрашенные налеты, цвет которых определяется гифами и спорами, образованными плодоносящими гифами. Это наиболее часто встречающаяся форма роста грибов на музейных предметах, находящихся в запасниках. Но грибы могут развиваться и в виде биопленок в других экологических условиях, или входить в состав биопленок вместе с другими микроорганизмами и микроводорослями.

Согласно определению, *биопленка* – это прикрепленное микробное сообщество, в котором клетки прикреплены к субстрату или к границе раздела фаз, или друг к другу. Они погружены в матрикс, состоящий из внеклеточных полимерных веществ, продуцируемых ими, и имеют фенотипические изменения. На фасадах зданий, в местах стекания воды, *Aureobasidium pullulans* развивается в виде биопленки. Его клетки



Ил. 1. Собор Всех Святых Горненского монастыря (Израиль)

а). Собор Всех Святых. Общий вид;

б). Темный налет на штукатурке в одном из барабанов собора;

в). Фрагмент штукатурки. Черные, звездчатой формы колонии, отдельные гифы, микроскоп *Leica EZ 4D*,  $\times 35$ ;

г, д, е, ж, з). Темноокрашенный мицелий и конидии, характерные для рода *Cladosporium*; в некоторых пробах, помимо грибов, были клетки водорослей, микроскоп *Leica DM LS2*,  $\times 400$ ;

и). Посев черного налета, среда Чапека, 10 дней инкубации. Колонии одного из видов *Cladosporium*

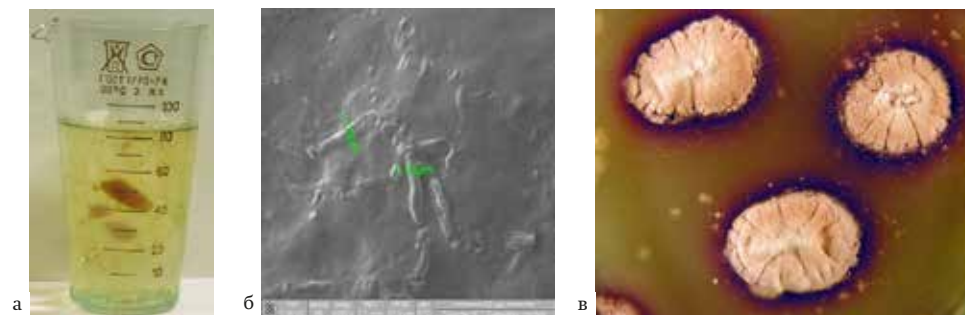


Ил. 2. Памятник архитектуры XIX века

а). Грибная био пленка на фасаде; б, в). Почкующиеся клетки *A. pullulans* в пробе био пленки, микроскоп *Leica DM LS2*

погружены во внеклеточные полисахариды, один из которых называется пуллулан, служащие матриksom (ил. 2). Условия роста оказывают сильное влияние на формы мицелиальных микроскопических грибов. Пеллетная форма роста характерна для погруженных в жидкость культур грибов. Пеллеты можно рассматривать как вариант био пленки, формы роста, которая обеспечивает повышенную устойчивость к различным стрессорным агентам, в том числе и к антимикробным средствам. В хранившемся в течение трех лет, концентрированном (25%), вязком растворе препарата *Полисепт* появились окрашенные пеллеты, в результате посева которых на среду Чапека образовались колонии *Purpureocillium lillacinum* (ил. 3). Вязкость раствора *Полисепта* обеспечивала условия, как при глубинном культивировании, когда грибы развиваются в форме пеллет, а слизистый матрикс обеспечивал защиту от действия биоцида. Проблема была в том, что пока не была определена природа появившихся образований, использование препарата приводило к распространению клеток гриба.

Грибы размножаются вегетативным, бесполом и половым путями. При вегетативном размножении от мицелия отделяются его части, которые дают начало новому мицелию. Бесполое и половое размножение происходит при помощи специализированных клеток (одноклеточных и многоклеточных структур) – спор. Микроскопические грибы обладают огромной энергией размножения, они образуют сотни тысяч и миллионы спор на малую поверхность налета. Вследствие малых размеров споры способны распространяться током воздуха, оседать на органических и минеральных частичках пыли. Основным источником попадания спор грибов на музейные предметы – это оседание их из воздуха вместе с пылью.

Ил. 3. 25% раствор препарата *Полисепт*

а). Пеллеты *P. lillacinum* в растворе препарата;  
б). Фрагмент пеллеты, гифы, погруженные в слизь;  
в). Колонии *P. lillacinum*, выделенные из пеллет, среда Чапека, электронный микроскоп *Quanta 3D*

При наличии подходящего питательного вещества, даже в небольшом количестве (пыль, отпечатки пальцев и т. п.), и достаточной влажности и температуры оболочка физиологически зрелой споры разрывается, и из нее выходит ростовая трубка, которая, удлиняясь, становится гифой. Гифы разрастаются, ветвятся, на них образуются органы спороношения и затем споры. Таким образом, жизненный цикл большинства грибов протекает от споры до споры.

Роль спор грибов не исчерпывается только функциями размножения и распространения. Одна из важнейших функций – обеспечение выживания при неблагоприятных условиях существования. Они способны длительно сохранять жизнеспособность, выдерживать воздействие низких и высоких температур, высоких доз излучения, ядовитых веществ.

Повреждения грибами произведений искусства проявляются в виде неокрашенных или окрашенных налетов, пигментных пятен разного цвета, на лаковых покрытиях – иногда в виде неокрашенных тусклых пятен. Мицелий грибов внедряется в материал, на котором развивается, повреждая его механически и химически (ферментами, кислотами, окрашенными соединениями).

Распространенные виды микроскопических грибов жизнедеятельны в широком интервале влажности, температуры, pH среды, освещенности, содержания кислорода. Среди других групп микроорганизмов грибы наиболее устойчивы к низкой влажности, являющейся основным лимитирующим фактором роста микроорганизмов в условиях музеев. Поэтому хранители и реставраторы преимущественно встречаются с живописными произведениями, поврежденными грибами.

Торможение роста микроорганизмов посредством регулирования условий окружающей среды – один из самых древних и широко распространенных способов предупреждения биоповреждений. Особое значение он имеет для произведений искусства, так как для них существуют строгие ограничения на применение физических и химических методов борьбы с микроорганизмами.

Температура ниже 0°C не позволяет грибам развиваться при высоком уровне обводнения материалов. Исключение составляют несколько холодолюбивых видов, которые могут ограниченно расти при температуре немного ниже 0°C. Это исключение лишь подчеркивает общую закономерность – низкая температура тормозит развитие любых форм жизни, но способствует сохранению жизнеспособности покоящихся структур микроорганизмов.

При температуре выше 0°C, но относительной влажности (ОВ) воздуха ниже 60% споры грибов не могут прорасти. Для развития большинства грибов необходима ОВ воздуха выше 85%. С наибольшей скоростью грибы развиваются при высокой ОВ воздуха и температуре – 23–27°C.

Грибы, способные расти при низких значениях ОВ воздуха (ниже 85%), называют *ксерофилами*. Возможность роста грибов-ксерофилов – один из главных факторов, определяющих верхние безопасные границы ОВ воздуха для музейных фондов. Количество ксерофильных видов от общего числа видов микроскопических грибов невелико. Среди мицелиальных грибов – это экстремальные ксерофилы групп *Aspergillus glaucus* (*A. amstelodami*, *A. repens*) и *A. Restrictus* (*A. penicilloides*, *A. restrictus*), которые могут развиваться при ОВ воздуха 70–75% и, как показали последние исследования, даже при еще более низких значениях, в связи с чем возникает необходимость понижения значения верхней допустимой границы с 65% до 60%. Среди аспергиллов много ксеротолерантных форм (*A. versicolor*, *A. sydowii*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus*, *A. ochraceus*), растущих при ОВ воздуха 75–85%. *A. versicolor* и *A. sydowii* – наименее теплолюбивые формы среди ксеротолерантных аспергиллов, они часто развиваются при высокой ОВ воздуха в неотопливаемых или слабо отопливаемых хранилищах. Виды рода *Aspergillus* чаще всего выделяются с музейных экспонатов, поврежденных грибами в результате подъема ОВ воздуха и температуры немного выше безопасного уровня.

Ксерофильные виды *Penicillium* развиваются при ОВ воздуха 78–85%, они менее теплолюбивы, чем аспергиллы. При обследовании музейных фондов с поврежденных экспонатов были выделены ксерофильные и ксеротолерантные формы пенициллов: *P. brevicompactum*, *P. lanosocoeruleum*, *P. verrucosum*, *P. simplicissimum*; ксеротолерантными оказались также некоторые изоляты *P. chrysogenum*.

Среди других видов мицелиальных грибов известны в качестве ксерофилов *Wallemia sebi*, *Chrysosporium fastidum* и *C. xerophilum*,

развивающиеся на длительно хранящихся продуктах питания. Они требуют более высокого питательного статуса субстрата, чем виды *Aspergillus* и *Penicillium*.

Проведенные в последние годы исследования показали, что в музеях, параметры микроклимата которых не выходят за рамки допустимых значений, создаются условия для развития экстремально ксерофильных форм грибов *Aspergillus penicilloides* и *Eurotium amstelodami*. Они были отнесены к экстремальным ксерофилам, потому что развивались в условиях, при которых отсутствовал рост каких-либо других грибов и микроорганизмов, и, самое главное, потому что их не удавалось выделить на обычные грибные питательные среды с высокой активностью воды. Рост этих форм грибов проявляется в виде образования светло-серых микроколоний, размером 1–3 мм, на красочном слое живописи, или на холсте, досках, фанере со стороны оборота, или даже на стекле, вставленном в раму. При микроскопии проб с мест роста микроколоний можно видеть конидиеносцы, относящиеся к роду *Aspergillus*, многочисленные конидии, мицелий грибов, реже встречаются клейстотеции. Часто вместе с грибными структурами присутствуют клещи, различного рода волокна, частицы сажи и другие структуры, входящие в состав поверхностных загрязнений. В результате неудачных выделений на питательные среды сначала сочли, что грибы в составе микроколоний нежизнеспособны. Однако при использовании сред с резко пониженной активностью воды (с 0,98–0,99 до 0,85) их удалось выделить и определить.

Экстремально ксерофильные формы грибов были обнаружены как в музеях, необорудованных техническими системами поддержания микроклимата, так и в музеях с самыми современными системами кондиционирования. Экологические ниши для экстремофилов возникают в музеях и музейных запасниках, потому что в одних – в силу естественных причин, в других – в результате искусственно создаваемых условий влажность воздуха постоянно или периодически находится вблизи верхней допустимой границы.

Недавно было экспериментально показано, что *Aspergillus penicilloides* способен развиваться при активности воды – 0,647 (ОВ воздуха 64,7%), и это самое низкое значение влажности, при котором вообще возможен рост каких-либо микроорганизмов. Для роста *Eurotium amstelodami* минимальное значение активности воды – 0,656 (ОВ воздуха 65,6%)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Williams J.P., Hallsworth J.E. Limits of life in hostile environments: no barriers to biosphere function? // Environment microbiology. 2009. Vol. 11 (12). P. 3292–3308.

### 1.3. Повреждение станковых живописных произведений микроскопическими (плесневыми) грибами

#### а). Факторы деструкции, особенности роста

На красочном слое живописи и ее основе могут развиваться различные виды грибов. Микологические анализы поврежденных произведений станковой живописи в музейных фондах показали, что чаще всего в составе микофлоры встречаются грибы-полифаги, выделяемые с многих субстратов в условиях повышенной влажности. С красочного слоя, грунта и основы живописных произведений были выделены виды родов: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Eurotium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Ulocladium*, *Sporotrichum*, *Acremonium* и *Mycelia sterilia*. По отношению к температурным параметрам, это были мезофильные и психрофильные виды (многие произведения, на которых был обнаружен рост грибов, хранились в неотопливаемых запасниках). По отношению к уровню влажности, среди выделенных грибов были как гигрофильные, так и ксеротолерантные, и даже экстремально ксерофильные формы грибов, в зависимости от уровня увлажненности субстрата, с которого они были выделены.

Источниками питания для грибов могут служить связующие грунта и красок (белки, липиды), основа станковой живописи (холст, дерево, бумага), а также реставрационные материалы. Нередки случаи развития грибов на профилактических заклеях вздутий и осыпей красочного слоя. Для роста грибов достаточно даже небольшого количества загрязнений на поверхности красочного слоя. Микроколонии грибов могут развиваться за счет органических компонентов пыли, оседающей на поверхности. Разрушительное действие микроскопических грибов имеет, с одной стороны, механический характер, повреждение происходит за счет разрастания гиф внутри слоев живописи, а с другой стороны – биохимический – ферментативное расщепление веществ, используемых в энергетическом и конструктивном метаболизме, и одновременное выделение в субстрат продуктов обмена (метаболитов) – органических кислот, перекисных соединений, аммиака, пигментов, двуокиси углерода.

В разрушении материалов, входящих в состав живописных произведений, важную роль играют внеклеточные ферменты класса гидролаз, катализирующие гидролитические реакции: амилазы, пектиназы, целлюлазы, протеазы и липазы. Грибы, выполняющие в природе роль деструкторов органических веществ, обладают мощными гидролитическими и окислительными ферментными системами, позволяющими им усваивать полимеры естественного и искусственного происхождения. Используя в качестве источника питания связующие красочного слоя, грунта, или реставрационные клеи, они вызывают разрыхление, изменение цвета красочного слоя, а в случае тяжелых повреждений – и полное его разрушение.

Некоторые микроскопические грибы известны как продуценты органических кислот: лимонной, винной, щавелевой, глюконовой, кетоглюконовой и некоторых других. Органические кислоты оказывают деструктурирующее воздействие на живопись, образуя водорастворимые комплексы с катионами соединений, входящими в ее состав, или преобразуя их в другие, плохо растворимые соединения, например, оксалаты кальция. Особое место среди метаболитов грибов, вызывающих повреждения живописи, занимают внеклеточные и внутриклеточные пигменты грибов. Это стойкие вещества, относящиеся к разным классам органических соединений. Так, например, черный внутриклеточный пигмент грибов – меланин – известен как весьма устойчивое соединение. Вследствие образования грибами пигментов на живописных произведениях появляются трудно устранимые пятна.

На произведениях станковой масляной живописи грибы чаще развиваются на обороте, со стороны холста, чем на красочном слое. Легкодоступным источником питания здесь является животный клей, наносимый на холст перед грунтовыванием. Масло, по сравнению с клеем, осваивается грибами значительно более медленно. Кроме того, живописные произведения набирают влагу быстрее и в большем количестве со стороны оборота.

Наибольшую опасность для холстов представляет развитие целлюлозоразрушающих грибов, образующих комплекс целлюлозолитических ферментов. Целлюлозоразрушающие грибы резко снижают механическую прочность волокон, приводя холст в ветхое состояние. Скорость и глубина разрушения холста микромицетами увеличивается из-за содержания в нем комплекса питательных веществ: целлюлозы, крахмалопродуктов шпихты и белковых веществ клея. В некоторых случаях грибы, развиваясь со стороны холста, не затрагивают красочный слой, но, разрушая основу, они губительно действуют на физическое состояние живописи – красочный слой теряет эластичность и связь с основой, шелушится и осыпается.

Масло более стойко по отношению к повреждению грибами, чем темпера и клей. Однако колонии микроскопических грибов могут расти на красочном слое масляной живописи. Чаще они развиваются в кракелюрах, в которых скапливаются поверхностные загрязнения. В этом случае они могут использовать органические вещества в составе поверхностных загрязнений, а также связующие красочного слоя и грунта. Они способны развиваться на участках лакового покрытия без кракелюров и на красочном слое без лака. На застекленных картинах в запасниках можно обнаружить развитие микроколоний грибов на внутренней поверхности стекла, которые в данном случае довольствуются только органическими веществами в составе пыли (ил. 4).

Многие пигменты, использовавшиеся ранее и используемые сейчас в станковой масляной живописи, представляют собой токсичные для грибов соли тяжелых металлов: ртути, свинца, кобальта, кадмия,

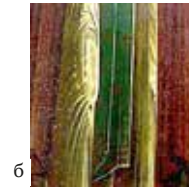


Ил. 4.  
Микроколонии грибов на внутренней стороне стекла рамы, снятой с картины

мышьяка, меди. Ингибируют рост грибов также окись цинка (цинковые белила) и окись хрома. Другие пигменты – разные виды охры, сиена, разные виды сажи, краплак – не только не ингибируют, но даже способствуют росту грибов (ил. 5). Помимо отсутствия токсичности у этих пигментов, участки красочного слоя, написанные ими, преимущественно подвергаются колонизации грибами еще и по другой причине. Есть наблюдения, что в результате высыхания масляных красок с некоторыми земляными пигментами образуются менее прочные красочные пленки, которые обладают в какой-то степени гигроскопичными свойствами. При резких изменениях температурно-влажностных условий они деформируются, в то время как окружающие их участки красочного слоя, написанные с использованием свинцовых белил, остаются неповрежденными<sup>5</sup>. Способность поглощать больше влаги делает их доступными для развития грибов в первую очередь (ил. 5).

В условиях незначительного превышения допустимых значений влажности воздуха грибы развиваются в форме светло-серых микроколоний, которые можно не заметить при беглом осмотре. Для их обнаружения следует использовать скользящий (боковой) свет. Они развиваются на красочном слое и обороте картин, на стеклах, если картина помещена в застекленную раму. Если удалить микроколонии сразу после их появления, на месте их роста не остается видимых следов. При более длительном развитии на лаковых покрытиях остаются тусклые пятна.

<sup>5</sup> Mecklenburg M.F. Micro Climates and Moisture Induced Damage to Paintings // Museum Microclimates: Contributions to the Conference (Copenhagen, 19–23 November 2007) / National Museum of Denmark. – Copenhagen, 2007. P. 19–25.



Ил. 5. Икона «Сергий и Савва». XIX в.  
Дерево, масло  
а). Общий вид;  
б). Фрагмент. Микроколонии грибов развиваются на участках красочного слоя, написанных с использованием земляных пигментов

#### б). Псевдопроявления роста грибов на живописи

В процессе описания состояния сохранности полиптиха «Тайная вечеря» Н. И. Нестеровой, 1996 года, поступившего на временное хранение в Государственную Третьяковскую галерею (ГТГ), на участках красочного слоя картин «Апостол Филипп» и «Апостол Иаков» был обнаружен белесоватый плесневидный налет. Он образовался на участках, написанных с использованием темных пигментов, предположительно, умбры, угля, темно-коричневой охры (ил. 6–9).

Поскольку обнаруженный налет был похож на налеты, образующиеся в результате развития микроскопических грибов или псевдомицелиальных форм актиномицетов при наличии соответствующих условий, было проведено исследование для того, чтобы установить – могли ли образоваться вследствие развития микроорганизмов. С этой целью были сделаны микологические посева, и отобрано небольшое количество обнаруженного налета для микроскопического исследования.

В результате микроскопического исследования (микроскоп *Leica DM LS2*) препаратов с пробами налета скоплений спор, фрагментов мицелия, указывающих на развитие колоний микроскопических грибов на живописи, не обнаружено. Посевы на питательные среды также дали отрицательные результаты. При нагревании пробы налет плавился подобно воску или парафину.

В практике Лаборатории биологических исследований ГОСНИИР, во время проведения обследования музейных фондов встречались случаи образования плесневидных налетов на живописи (ил. 9). Это было связано с использованием матирующих лаков.

Для уменьшения лакового глянца в него добавляют различные матирующие добавки, чаще всего воск. С течением времени матирующий компонент может образовать налет на лаковой поверхности, очень напоминающий налет плесневых грибов. Иногда это происходит вследствие



Ил. 6. Н. И. Нестерова.  
Полиптих «Тайная вечеря». 1996 г.  
Картина «Апостол Филипп»



Ил. 7. Н. И. Нестерова.  
Полиптих «Тайная вечеря». 1996 г.  
Картина «Апостол Иаков»

чрезмерного использования матирующего лака, когда он наносится неоднократно, через небольшие промежутки времени, с целью создания определенных колористических эффектов (ил. 10). Образовавшийся налет так же, как и налеты грибов, можно снять с поверхности лака. Но выпотевший воск, в отличие от налетов грибов, можно полировать, и тем самым вернуть прозрачность лаковому покрытию.

Иногда как плесневидные налеты выглядят остатки дублировочного клея. На обороте картины «Проводы рекрута» (холст, масло; Музей-заповедник «Архангельское»), копии неизвестного художника с картины И. В. Лучанинова, был обнаружен белый налет в виде пятен, светящихся в УФ-лучах, и небольшие темные пятна (ил. 11). С оборота картины были сделаны микологические посевы. Результаты посевов на среду Чапека были отрицательными.

В результате микроскопного исследования проб белого налета скопленных спор или грибных гиф, указывающих на развитие колоний микроскопических грибов на обороте картины, не обнаружено. В препаратах проб белого налета обнаружены крахмальные зерна, которые окрашивались спиртовым раствором йода (0,1%) в сине-фиолетовый цвет (ил. 12), что указывает на присутствие на обороте остатков мучного клея.

Свечение в УФ-лучах связано, по-видимому, с добавкой в мучной клей небольшого количества животного клея.



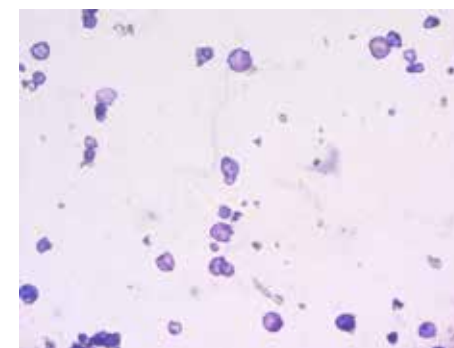
Ил. 8. Фрагмент картины  
«Апостол Филипп».  
На шее виден белесоватый налет



Ил. 9. Фрагмент картины  
«Апостол Филипп».  
Виден белесоватый налет на рукаве



Ил. 10. Фрагмент картины  
(2006 г.; холст, масло).  
«Выпотевание» матирующей  
добавки лака



Ил. 12. Крахмальные зерна  
в пробе белого налета после  
окрашивания раствором йода



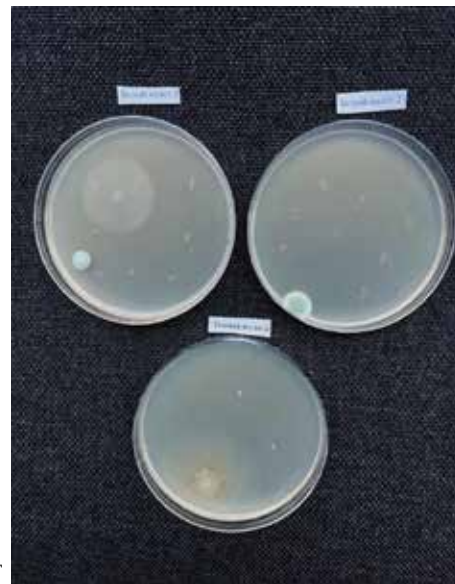
а



б



в



г

Ил. 11. Картина «Проводы рекрута». Холст, масло.  
Музей-заповедник «Архангельское»

- а). Лицевая сторона картины;  
б). Оборот картины;  
в). Оборот картины в УФ-лучах;  
г). Чашки Петри со средой Чапека, засеянные пробами с холста. Верхний ряд – пробы белого налета; нижняя чашка – пробы с темного пятна

#### 1.4. Условия хранения, исключая возможность роста грибов

Согласно рекомендациям музейных климатологов, для музеев, имеющих технические средства обеспечения микроклимата, допустимые значения температуры находятся внутри интервала – от 15°C до 24°C, допустимые значения ОВ воздуха – внутри интервала – от 40% до 65%. Сочетание верхних значений температуры (+22°–24°C) и влажности воздуха (65%) возможно только на короткие промежутки времени, так как может произойти переувлажнение материалов, и появляется опасность развития микроорганизмов. Подвижность воздуха в зоне размещения экспонатов (в рабочей зоне) – не более 0,1–0,2 м/сек<sup>6</sup>. Верхняя граница ОВ воздуха диктуется соображениями микологической безопасности. Недопустимо сочетание предельных значений температуры и влажности, так как влагосодержание воздуха и равновесная ему влажность материалов будут высокими. Полагается, что если параметры микроклимата не выходят за границы допустимых, то развитие грибов происходить не может. Оптимальные воздушные параметры при комплексном экспонировании и хранении музейных коллекций следующие: температура – 18±1°C, ОВ воздуха – 50±5%. Подвижность воздуха в зоне размещения экспонатов (в рабочей зоне) – не более 0,1–0,2 м/сек<sup>7</sup>.

Согласно Т. Диксону<sup>8</sup>, допустимый интервал ОВ воздуха для хранения произведений станковой живописи – 40–60%, оптимальный – 45–55%, при температуре порядка 21°C в зимний период и порядка 25°C – в летний. При этом подчеркивается, что более важен стабильный уровень влажности, чем абсолютные величины внутри интервалов. Критическим значением влажности для развития грибов Т. Диксон называет уровень выше 67%.

Г. Томсон предлагает оптимальный интервал – 50–55%, но с оговоркой, что поддержание влажности в этих пределах при низких наружных температурах представляет угрозу зданию<sup>9</sup>. Однако проведенные исследования показали, что ограниченный рост экстремальных ксерофилов возможен при значении ОВ воздуха – 65% и температуре – выше 20°C<sup>10</sup>, поэтому допустимый уровень должен быть снижен до 60%.

В Центральной аналитической лаборатории Смитсоновского института (Вашингтон, США) была проведена работа с целью определения

<sup>6</sup> Музейное хранение художественных ценностей: Практическое пособие / ГосНИИР. – М., 1995. С. 204.

<sup>7</sup> Там же.

<sup>8</sup> Dixon T. Storage of Easel Paintings // Conservation of Easel Paintings. – Abingdon, Oxon; New York, 2012. P. 672–677.

<sup>9</sup> Томсон Г. Музейный климат. – СПб., 2005. С. 131.

<sup>10</sup> Ребрикова Н.Л. Механизмы устойчивости грибов-ксерофилов к пониженному водному потенциалу // Микология сегодня. – М., 2016. Т. 3. С. 31–42.

свойств различных материалов при различных микроклиматических параметрах и влияния на них их изменений. Реакция материалов живописи и других материалов, из которых сделаны музейные предметы, на изменение микроклиматических параметров оценивалась по изменению размеров, изменению физических и химических свойств отдельных материалов и их сочетаний в композитных материалах. Оценивалось также изменение свойств материалов в процессе старения при разных параметрах микроклимата<sup>11</sup>. На основании исследований физико-механических свойств различных материалов при различных значениях температуры и влажности воздуха, их реакции на изменения микроклиматических параметров, предложено расширить рекомендуемый диапазон значений, с изменением среднего значения ОВ воздуха в сторону уменьшения до 45%.

Конечно, сильно разрушенные произведения, или произведения, основа которых выполнена из очень гигроскопичных пород дерева, должны храниться в специальных витринах, обеспечивающих высокую степень их защиты от флуктуаций влажности. Например, произведения «Динарий кесаря» Тициана и «Мона Лиза» Леонардо да Винчи, написанные на тополевых досках, хранятся в специальных витринах.

Музейный климат даже при наличии возможности круглогодичного поддержания одних и тех же параметров должен быть сезонным – поддержание более прохладных и сухих условий зимой и слегка более теплых и влажных летом, с плавным переходом между ними. В мировой и отечественной музейной практике предусматривается снижение параметров температуры и влажности в холодный период года в музейных зданиях, оборудованных системами кондиционирования воздуха.

<sup>11</sup> Erhardt D., Tumosa Ch.S., Mecklenburg M.F. Applying science to the question of museum climate // Museum Microclimates: Contributions to the Conference (Copenhagen, 19–23 November 2007) / National Museum of Denmark. – Copenhagen, 2007. P. 11–18.

## 2. Музейные и библиотечные фондохранилища – экологическая ниша для экстремально ксерофильных грибов

### 2.1. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музейных фондах

**М**ицелиальные микроскопические грибы превосходят все другие микроорганизмы по способности осуществлять жизненный цикл на твердом субстрате в условиях дефицита доступной воды. Адаптационные возможности грибов-экстремофилов позволяют им развиваться в экологических нишах с низкой активностью воды. На экспонатах, книжных переплетах, музейном оборудовании ксерофильные грибы развиваются в виде светло-серых микроколоний, диаметром несколько миллиметров, либо образуют налеты в кракелюрах красочного слоя, или в стыках деревянного набора мебели. Они обнаруживаются в запасниках, в которых параметры микроклимата в контролируемых зонах (в местах, где стоят измерительные приборы) не выходят за допустимые пределы.

Появление микроколоний связано с низкими или нулевыми значениями подвижности воздуха, так называемыми застойными зонами. Они развиваются в тени движения воздушных потоков на музейных предметах и оборудовании, имеющих определенную пылевую нагрузку. Образованию застойных зон способствуют перегруженность фондов, компакт-стеллажи, большеформатные произведения, расположение стеллажей и предметов без учета выходов приточных и вытяжных каналов<sup>12</sup>. Отсутствие движения воздуха способствует возникновению температурных неоднородностей в углах, около холодных фасадных стен, полов на первых этажах исторических зданий и в полуподвалах, в результате образования влажностных карманов. Микроколонии могут появляться также вследствие резких перепадов температуры, например, в помещениях с большой площадью остекления.

При нулевой подвижности воздуха и поддержании микроклиматических параметров вблизи верхних допустимых значений создаются условия для развития грибов-экстремофилов на произведениях и музейном оборудовании. Так, например, микроколонии грибов были обнаружены на большемерных картинах, выполненных в технике масляной живописи

<sup>12</sup> Ребрикова Н.Л., Позниовская В.Б. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музейных фондах // Современная микология в России: Материалы III Международного микологического форума (Москва, 14–15 апреля 2015 г.). – М., 2015. Т. 4. С. 298–300; Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves / M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti // International Biodeterioration and Biodegradation. 2012. Vol. 75. P. 83–88. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.03.011



Ил. 13. Отбор проб для микроскопического исследования



Ил. 14. Конидиеносцы, мицелий и конидии грибов, обнаруженные в пробе с картины



Ил. 15. Комод в запаснике мебели. Усадьба Кусково.  
а). Общий вид; б). Колонии ксерофилов на ножке комода



на холсте, в запаснике ГТГ, в центре которого ОВ воздуха была на уровне 55–58%, при температуре 18–22°C, а также на деревянной скульптуре в запаснике, где ОВ воздуха не превышала 58%, при температуре 21–23°C<sup>13</sup>.

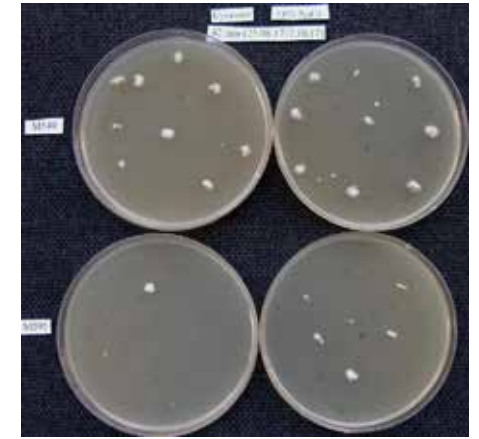
В Национальной центральной библиотеке Рима (Италия) развитие ксерофильных форм грибов на переплетах книг, хранящихся в компакт-стеллажах, наблюдалось при соблюдении рекомендуемых параметров температуры и влажности – 19–24°C и 50–60%<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Ребрикова Н.Л., Понизовская В.Б. Указ. соч.

<sup>14</sup> Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves / M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti // International Biodeterioration and Biodegradation. 2012. Vol. 75. P. 83–88. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.03.011

Экологические ниши для развития грибов-экстремофилов создаются в музеях, необорудованных системами поддержания микроклимата, и в музеях, оборудованных системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК). Микроколонии грибов были обнаружены в неотапливаемых фондохранилищах, отапливаемых в холодный период года и оборудованных системами ОВК. В запасниках, имеющих только централизованную систему отопления, микроколонии чаще встречались на первых этажах исторических зданий, в цокольных помещениях и полуподвалах. В запасниках, оборудованных системами ОВК, микроколонии чаще встречались на предметах в компакт-стеллажах, в перегруженных предметами запасниках, расположенных в подвалах с холодными полами и стенами, в запасниках с нарушенной подвижностью воздуха (ил. 13–18)<sup>15</sup>.

Источником питательных веществ для грибов-экстремофилов служит пыль, которая, наряду с неорганическими веществами, содержит



Ил. 16. Колонии, выделенные с комода (верхний ряд) на среду Чапека с 17% NaCl, 42 дня инкубации



Ил. 17. Ксерофилы в кракелюрах красочного слоя иконы (темпера)



Ил. 18. Ксерофилы в стыках деревянного набора

<sup>15</sup> Ребрикова Н.Л., Понизовская В.Б. Указ. соч.

и органические вещества, необходимые для роста грибов<sup>16</sup>. За счет пылевых отложений они способны развиваться на неорганических материалах, например, на стекле.

Для определения грибов, развивающихся в виде микроколоний на предметах и оборудовании в музейных и библиотечных фондах, были проведены микроскопные и культуральные исследования. Препараты для исследования в световом микроскопе готовили, используя молочную кислоту. В составе микроколоний были обнаружены мицелий и конидиеносцы *Aspergillus*, иногда уродливой формы. Часто вместе с грибными структурами, волокнами растительного и животного происхождения и другими загрязнениями в пробах встречались микроскопические клещи. На ассоциации экстремально ксерофильных форм грибов с клещами домашней пыли указывалось еще в конце 1970-х годов<sup>17</sup>.

На обычные питательные среды для культивирования плесневых грибов выделить грибы, образующие микроколонии, невозможно, но это не означает, что они нежизнеспособны. Их жизнеспособность была подтверждена с помощью анализа АТФ (аденозинтрифосфата) (табл. 1).

Таблица 1. Содержание АТФ в пробах с поверхности музейных предметов из запасников мебели двух музеев

№	Участки отбора проб	Количество АТФ (пикомоль) / 2,25 см <sup>2</sup>
1.	ГТГ. Запасник мебели. Поверхностные загрязнения на лакированном дереве (подлокотник дивана)	0,06
2.	ГТГ. Запасник мебели. Микроколонии грибов на лакированном дереве (подлокотник дивана)	2,26
3.	ГТГ. Запасник мебели. Поверхностные загрязнения на стекле	0,07
4.	ГТГ. Запасник мебели. Микроколонии на лакированном дереве (круглый стол)	4,98
5.	Усадьба Кусково. Запасник мебели. Поверхностные загрязнения на лакированном дереве (передняя стенка комода, № М 539)	0,07
6.	Усадьба Кусково. Запасник мебели. Микроколонии грибов в стыках набора и кракелюрах лакового покрытия (передняя стенка комода, № М 539)	1,17

<sup>16</sup> Brimblecombe P. Understanding the composition of museum air // Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung. 2008. Bd. 22. P. 235–239; When the Dust Settles: Dust Monitoring in Exhibitions at the Victoria and Albert Museum / B. Shah, S. Hunter, S. Adams, et al. // International Preservation News. May 2011. № 53. P. 24–29.

<sup>17</sup> Samson R.A., B. van der Lustgraaf. *Aspergillus penicilloides* and *Eurotium halophilicum* in association with house-dust mites // Mycopathologia. 1978. Vol. 64. P. 13–16.

Количество АТФ в контрольных пробах № 1, 3, 5 было примерно одинаковым. С точки зрения микробиологической чистоты поверхности, по требованиям санитарных норм их нельзя отнести к категории чистых. Это неудивительно, так как известно, что в пылевых отложениях содержатся клетки микроорганизмов, часто в значительных количествах. Уровень АТФ в пробах, взятых с участков с признаками развития микроколоний грибов, был разным. Но во всех пробах, взятых с участков с признаками развития микроколоний (пробы № 2, 4, 6), он был на два порядка больше, чем в контрольных пробах пылевых отложений<sup>18</sup>. Результаты измерения АТФ свидетельствуют о том, что грибы в составе микроколоний жизнеспособны и не выделяются на стандартные питательные среды по другой причине, а не в силу отсутствия жизнеспособных клеток в их составе.

Грибы-ксерофилы можно выделить на селективные среды с пониженной активностью воды. Резкое снижение активности воды за счет добавления осмотически активных веществ позволяет получить чистые культуры экстремально ксерофильных форм грибов. Так, например, добавление в сусло-агар или в агар Чапека 17% NaCl снижает активность воды в среде с 0,99 до 0,85. На среды с резко пониженной активностью воды удалось выделить *Aspergillus penicilloides*, *Eurotium amstelodamii* и *Eurotium sp.* По частоте встречаемости *E. amstelodamii* не мог конкурировать с *A. penicilloides*, который выделялся значительно чаще. Виды рода *Eurotium* развивались либо совместно с *A. penicilloides*, либо без него, но встречались реже. Следует отметить, что в результате прямого микроскопного исследования наблюдали только конидиальное спороношение, анаморфную стадию. А в результате посева на селективные среды были выделены культуры грибов: с конидиальным спороношением – *A. penicilloides*, со смешанным типом спороношения – конидиальным и сумчатым – *Eurotium sp.*, и только с сумчатым спороношением, телеоморфная стадия, – *E. amstelodamii*.

В Италии для выделения ксерофилов, развивающихся в компакт-стеллажах на переплетах книг, использовали селективную среду дихлоран-глицериновый агар (DG 18). Активность воды этой среды – 0,95. При таком уровне активности воды возможно развитие не только экстремальных ксерофилов, но и других грибов, и даже бактерий, поэтому в среду добавляются антибиотик для подавления развития бактерий и в небольшом количестве дихлоран (дихлорбензалконий хлорид), сдерживающий развитие быстро растущих муковоксовых грибов. С корешков книг, находящихся в компакт-стеллажах в Национальной центральной библиотеке Рима, на среду DG 18 был выделен *Eurotium galophilicum*, причем исследователи отмечают, что на месте роста (*in vivo*) обнаружена только анаморфная стадия гриба, а на среде (*in*

<sup>18</sup> Ребрикова Н.Л., Понизовская В.Б. Указ. соч.

*vitro*) – только телеоморфная<sup>19</sup>. Те же результаты были получены нами при выделении *E. amstelodamii* с комода, хранящегося в запаснике мебели Усадьбы Кусково.

Проявления роста грибов в виде микроколоний связаны с развитием в условиях стресса. А. Стивенсон, с коллегами, показал, что радиальная скорость *A. penicilloides* на субстрате с активностью воды 0,656 равна 0,074 мм/день, за год диаметр колонии достигает 3,43 мм<sup>20</sup>.

Выделенные нами на селективные среды ксерофилы из музейных фондов развивались крайне медленно. На среде сусло-агар с 17% NaCl и на среде Чапека с 17% NaCl, с активностью воды 0,85, колонии *A. penicilloides* появлялись на 6–12 день инкубации. Через 12 дней колонии *A. penicilloides* были диаметром около 1 мм, но уже с многочисленными конидиеносцами. Через 19 дней на сусло-агаре появилась голубовато-серая окраска колоний, а на среде Чапека – светло-серая окраска, но с преобладанием белого цвета. На среде Чапека белый цвет колоний сохранялся преобладающим весь длительный срок культивирования (более года). Скорость роста на 19-й день инкубирования составила 0,08 мм/день. На селективных средах некоторые колонии росли немного быстрее других, но все равно темп роста оставался медленным. Через два месяца колонии были менее 10 мм, темп роста – 0,1 мм/день. Скорость роста *E. amstelodamii* на сусло-агаре с 17% NaCl была 0,08 мм/день. Скорость роста на средах с более высокой активностью воды (0,85) была выше, чем на среде с активностью воды 0,656<sup>21</sup>, но оставаясь при этом достаточно низкой. Поэтому колонии экстремофилов, обнаруженные на музейных предметах, невелики по размерам, это микроколонии диаметром несколько миллиметров.

Положительные результаты выделения грибов на селективные среды показали, что микроколониальные грибы являются экстремальными ксерофилами, которые не могут развиваться на средах с высокой активностью воды. На средах с незначительно пониженной активностью воды, если в них не добавлять антибиотики и фунгистатики, они развиваются плохо, так как не могут конкурировать с бактериями и грибами, развивающимися быстрее и забивающими рост экстремальных ксерофилов. Рост других микроорганизмов на среде можно подавить без добавления антибиотиков и фунгистатиков, понизив активность воды с помощью добавления значительных количеств соли, либо сахарозы, либо глицерина.

<sup>19</sup> Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves / M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti // International Biodeterioration and Biodegradation. 2012. Vol. 75. P. 83–88. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.03.011

<sup>20</sup> Is there a common water-activity limit for the three domains of life? / A. Stevenson, J.A. Cray, J.P. Williams, R. Santos // ISME Journal. 2015. Vol. 9. P. 1333–1351. DOI: 10.1038/ismej. 2014.219

<sup>21</sup> Ibid.

Ранее при обследовании музейных предметов и книг приходили к выводу, что грибы, образующие микроколонии, нежизнеспособны. Или выделяли другие виды грибов, в том числе и из рода *Aspergillus*, считая, что именно они развиваются в застойных зонах, хотя на самом деле они были случайными контаминантами. Обследование музеев показало, что экстремально ксерофильные грибы достаточно часто развиваются в музейных фондах. Рядом исследователей экстремальные ксерофилы считаются ответственными за образование фоксингов.

## 2.2. Механизм устойчивости грибов к пониженному водному потенциалу

Помимо ксерофильных грибов, при крайне низких значениях активности воды могут развиваться галофильные археи и прокариоты. Галофильные археи способны развиваться даже при более низкой активности воды (0,635), чем *A. penicilloides* (0,647). Однако механизм адаптации экстремально ксерофильных грибов отличается от механизма адаптации архей и прокариот, обитающих в гиперсоленых водоемах с экстремально низкой активностью воды.

Известны две стратегии адаптации к росту при низком водном потенциале. Солевая стратегия, предусматривающая поддержание осмотического равновесия путем избирательного накопления в цитоплазме неорганических ионов, которую используют экстремально галофильные археи и некоторые прокариоты. И другая стратегия, связанная с накоплением в клетках осмопротекторов, представленных органическими соединениями. Экстремальные галофилы аккумулируют в клетках неорганические ионы, при этом преобладающим катионом является K<sup>+</sup><sup>22</sup>. У них ферменты и другие макромолекулы модифицированы таким образом, чтобы эффективно функционировать при высоких внутриклеточных концентрациях солей. У микроорганизмов с несолевым типом адаптации к водному стрессу внутриклеточные макромолекулы не подвергаются специфической модификации и, следовательно, чувствительны к высокой внутриклеточной концентрации соли. Такой тип осмоадаптации не предполагает значительных генетических, ферментативных и структурных изменений, и поэтому обеспечивает более гибкий способ устойчивости к осмотическим колебаниям. Возможно, по этой причине механизм, связанный с внутриклеточным накоплением органических веществ, имеет широкое распространение в микробном мире<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Sleator R., Hill C. Bacterial osmoadaptation: the role of osmolytes in bacterial stress and virulence // FEMS Microbiology Reviews. 2001. Vol. 26. P. 49–71.

<sup>23</sup> Galinski E. Osmoadaptation in bacteria // Advances in Microbial Physiology. 1995. Vol. 37. P. 273–328.

Степень устойчивости организмов к водному стрессу напрямую связана с эффективностью системы синтеза и накопления осмопротекторов. Так, ксерофильные микроорганизмы способны синтезировать осмопротекторы с более высокой скоростью и аккумулировать их в клетке в более высокой концентрации, чем гигрофилы. Чем сильнее происходит дегидратация, тем больше уровень накопления осмопротекторов в клетках, что показано на некоторых микромицетах<sup>24</sup>. У мицелиальных грибов и дрожжей, устойчивых в условиях водного стресса, осмопротекторы представлены глицерином, в меньших количествах другими полиолами – арабитом и манитом, а также углеводом трегалозой. Плазматическая мембрана проницаема для глицерина, поэтому должен быть механизм его удержания. На примере *Saccharomyces cerevisiae* показано, что потере глицерина при гиперосмотическом шоке оказывает противодействие путем активного импорта. Он осуществляется посредством глицерин-протонных симпортеров цитоплазматической мембраны<sup>25</sup>.

Стратегия накопления осмопротекторов позволяет грибам развиваться в условиях дефицита влаги, вызванного разными причинами. В гиперсоленых водоемах – это дрожжеподобные микроколонии; на твердых субстратах с низкой активностью воды – это спорулирующие мицелиальные микроколонии. Мицелиально-дрожжевой диморфизм грибов позволяет им осваивать разные экологические ниши.

Образование мицелиальными грибами гидрофобин в условиях водного стресса также обеспечивает им широкую экологическую амплитуду. Гидрофобины – белки клеточной стенки – образуются исключительно мицелиальными грибами. Воздушные гифы и конидии, покрытые гидрофобинами, трудно смачиваются из-за присутствия гидрофобных слоев на наружной поверхности, что способствует как росту воздушных гиф, так и распространению спор грибов в окружающей среде. Внутренняя поверхность гидрофобинных слоев гидрофильна. Гидрофобины выполняют также роль адгезивных молекул, участвуя в прикреплении грибов к твердым субстратам. Они также модифицируют движение растворов через клеточную стенку и придают ей прочность<sup>26</sup>. Роль гидрофобин особенно велика при росте

<sup>24</sup> Hocking A.D. Effects of water activity and culture age on the glycerol accumulation patterns of five fungi // *Journal of General Microbiology*. 1986. Vol. 132. Iss. 2. P. 269–275.

<sup>25</sup> Платов А.В. Повышение криорезистентности пекарских дрожжей на основе температурной и осмотической адаптации: Автореферат дис. ... кандидата технических наук. – М., 1997.

<sup>26</sup> Белозерская Т.А. Гидрофобины грибов: структура и функции // *Микология и фитопатология*. 2001. Т. 35. № 1. С. 3–11; Колесников Б.А., Ларионов И.В., Шамцян М.М. Получение поверхностно-активных белков из глубинной куль-

грибов на разделе фаз. Показано, что в геноме экстремального галофила *Wallemia ichtiophaga* содержится больше генов, кодирующих синтез гидрофобин, чем у галотолерантного *Aureobasidium pullulans*<sup>27</sup>.

### 2.3. Экстремально ксерофильные грибы – настоящая или мнимая причина образования фоксингов

Хранители и реставраторы музейных и библиотечных фондов хорошо знакомы с таким видом изменения состояния сохранности рисунков, гравюр, книг, рукописей, тканей из целлюлозных волокон, как появление фоксингов (бурых пятен). Они нередки в коллекциях материалов разного возраста, но особенно часто встречаются в книгах и рукописях, на рисунках и гравюрах XIX и начала XX века. Фоксинги могут отличаться по форме и цвету, но их проявления всегда связаны с преобладанием оттенков желтого и бурого цвета. В отличие от пигментных пятен грибов, с которыми фоксинги в некоторых случаях схожи по форме, они более однообразны по цвету, их развитие не связано с затеками и деформациями бумаги, следами ее намокания или пребывания в условиях повышенной влажности.

Фоксинги, начиная с работ доктора Х. Арай<sup>28</sup> и по сей день<sup>29</sup>, связывают с развитием экстремально ксерофильных грибов, потому что не удается получить культуры грибов, образующих фоксинги, на традиционные питательные среды. Как известно, экстремально ксерофилы не выделяются на традиционные питательные среды. Образование фоксингов так же, как и микроколониальных грибов, происходит в запасах, в которых микроклиматические параметры в регистрируемых зонах не выходят за допустимые пределы.

С помощью сканирующей электронной микроскопии между волокнами целлюлозы в местах образования фоксингов были обнаружены немногочисленные споры разной морфологии, фрагменты мицелия грибов, которые всегда присутствуют на старой бумаге. В отличие

туры гриба *Trichoderma viride* // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета)*. – СПб., 2014. № 5. С. 48–51.

<sup>27</sup> Plemenitaš A., Lenassi M., Konte T. Genomics of halophilic and halotolerant fungi // *Preprints of the 10th International Congress on Extremophiles (Saint Petersburg, 7–11 September 2014)*. – SPb., 2014. P. 73.

<sup>28</sup> Arai H. Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties. Part 1: Isolation of fungi from the foxing on paper // *Science for Conservation*. 1984. № 23. P. 33–39.

<sup>29</sup> Analysis of paper foxing by newly available omics techniques / J. Szulc, A. Otlewska, T. Ruman, K. Kubiak, J. Karbowska-Berent, T. Kozielc, B. Gutarowska // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2018. Vol. 132. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.03.005

от фоксингов, в местах образования микроколоний при микроскопном исследовании обнаруживаются конидиеносцы и множество одно-типных конидий.

Первым, кто связал ксерофильные грибы *Eurotium herbarum* и *Aspergillus penicilloides* с образованием фоксингов, был Хидео Араи. Следует отметить, что изоляты грибов из фоксинговых пятен были получены только после предварительного выдерживания образцов в эксикаторе с ОВ воздуха 85%, в условиях, благоприятных для развития ксерофилов<sup>30</sup>.

Затем польские исследователи предположили, что образование фоксингов на рисунке Леона Вычулковского вызвано развитием *Eurotium repens* и *E. rubrum*<sup>31</sup>. Эти виды были выделены на питательные среды. Однако полученные результаты не соотносились с микроскопными исследованиями фоксинговых пятен.

В последние годы стало возможным исследование биоразнообразия микроорганизмов без использования культуральных методов. Метагеномный анализ позволяет определить микроорганизмы, в том числе микроскопические грибы, присутствующие на памятниках искусства и культуры. С помощью культурально-независимых методов определяются некультивируемые и культивируемые грибы, в том числе и нежизнеспособные, а также грибы, находящиеся в состоянии покоя.

Методом метагеномного анализа была исследована микробная популяция в фоксингах на страницах книги XIX века. Были выявлены разнообразные бактерии и грибы. Среди грибов, обнаруженных в фоксингах, неожиданно было показано присутствие базидиального дереворазрушающего гриба, лихенизированных грибов. Экстремально ксерофильных грибов не обнаружено<sup>32</sup>.

В 2015 году, в результате исследования проб из фоксингов на «Автопортрете» Леонардо да Винчи, методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) были найдены аскоспоры, грибной мицелий, отнесенные к *Eurotium halophilicum*, и конидии, отнесенные к его анаморфной стадии *Aspergillus galophilicum*. Одновременно был проведен метагеномный анализ фоксинговых пятен, но клонов, относящихся к *Eurotium*

<sup>30</sup> Arai H. Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties. Part 1: Isolation of fungi from the foxing on paper // Science for Conservation. 1984. № 23. P. 33–39; Arai H. On the foxing-causing fungi // Preprints of the 8th Triennial ICOM Meeting. ICOM CC. – Sydney, 1987. P. 1165–1167; Arai H. Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study // International Biodeterioration and Biodegradation. 2000. Vol. 46. P. 181–188.

<sup>31</sup> Karbowska-Berent J., Jarmilko J., Czuczko J. Fungi in Fox Spots of a Drawing by Leon Wyczółkowski // Restaurator. 2013. № 35 (2). P. 159–179.

<sup>32</sup> Analysis of paper foxing by newly available omics techniques // J. Szulc, A. Otlewska, T. Ruman, K. Kubiak, J. Karbowska-Berent, T. Kozielc, B. Gutarowska // International Biodeterioration and Biodegradation. 2018. Vol. 132. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.03.005

*halophilicum*, в библиотеке клонов найти не удалось<sup>33</sup>. Вероятно, это связано с тем, что структуры, относящиеся к *Eurotium halophilicum* и его анаморфной стадии, найденные с помощью СЭМ, были случайными контаминантами и весьма немногочисленными. Предполагается, что роль ксерофильных и, возможно, других грибов в образовании фоксингов не связана напрямую с развитием грибов и не зависит от их жизнеспособности. Фоксинги появляются в результате воздействия на целлюлозу соединений, оставшихся после их смерти<sup>34</sup>, то есть процесс и биологический, и химический.

В 2020 году микробиом рисунков (набросков) Леонардо да Винчи, включая «Автопортрет», был изучен с целью создания их био-исторического архива. Пробы были изучены с помощью инновационного геномного подхода *Nanopore*, который предусматривает технологию секвенирования третьего поколения в сочетании с протоколом амплификации генома (WGA). Результаты были немного неожиданными для исследователей. Было обнаружено большое количество ДНК человека и ДНК бактерий, и незначительное количество ДНК грибов, присутствие которых изначально предполагалось. Многие обнаруженные бактерии оказались типичными для микробиома человека. Исследователи предположили, что часть бактерий – это результат взаимодействия с рисунками консерваторов, еще часть занесена вместе с экскрементами мух. ДНК человека на рисунках – также в результате работы консерваторов. В заключении исследования утверждается, что признаков повреждения «Автопортрета» грибами нет, за исключением фоксингов. Однако ДНК грибов практически не найдено. Поэтому природа фоксингов остается неясной<sup>35</sup>.

На рубеже XX–XXI веков была предложена версия и представлен ряд доказательств образования фоксингов на бумаге и тканях из целлюлозных волокон вследствие локальной окислительной деструкции целлюлозы<sup>36</sup>. На появление признаков локальной деструкции оказы-

<sup>33</sup> Amid the Possible Causes of a Very Famous Foxing: Molecular and Microscopic Insight into Leonardo da Vinci's Self-Portrait / G. Piñar, H. Tafer, K. Sterflinger, F. Pinzari // Environmental Microbiology Reports. June 2015. Vol. 7. Iss. 6. P. 849–859. DOI: 10.1111/1758-2229.12313

<sup>34</sup> Ibid.

<sup>35</sup> The Microbiome of Leonardo da Vinci's Drawings: A Bio-Archive of Their History / G. Piñar, M.C. Sclocchi, F. Pinzari, P. Colaizzi, A. Graf, M.L. Sebastiani, K. Sterflinger // Frontiers in Microbiology. 20 November 2020. Vol. 11: 20201. DOI: 10.3389/fmicb.2020.593401

<sup>36</sup> Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В., Дмитриева М.Б. Исследование проблемы этиологии образования фоксингов // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ГОСНИИР. – М., 1999. № 17. С. 103–107; Rebrikova N.L., Manturovskaya N.V. Foxing – A New Approach to an Old Problem // Restaurator. 2000. Vol. 21. № 2. P. 85–100; Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В. Современные представления о происхождении фоксингов и перспективы профилактики их

вают влияние следующие факторы: скорость старения бумаги, зависящая от технологии ее изготовления; уровень освещенности; доступ кислорода; присутствие поверхностных загрязнений, содержащих металлы с переменной валентностью; контакт с более легко окисляемыми, чем целлюлоза, органическими соединениями и продуктами ее окисления. Вследствие действия на целлюлозные волокна кислорода, света образуются перекисные соединения, которые переводят в каталитически активное состояние ионы металлов с переменной валентностью, входящие в состав загрязнений. В результате инициируется локально протекающий процесс ускоренного окисления. Впоследствии он может затормаживаться, когда реакция обрыва цепи свободно-радикального окисления начинает преобладать над реакциями ее инициации. На заключительном этапе продукты окисления целлюлозы, содержащие карбонильные группы, вступают в реакцию конденсации со свободными аминогруппами аминокислот, пептидов, белков в составе загрязнений или проклейки. Конечные продукты аминокарбонильной реакции Майяра – соединения, окрашенные в различные оттенки бурого цвета, так называемые пигменты старения. Они имеют прочные связи, поэтому стабильны.

Помимо металлов с переменной валентностью, более легко окисляемые соединения, например, липиды или продукты окисления целлюлозы, вызывают появление признаков локальной окислительной деструкции. Длительный контакт мало окисленной бумаги с бумагой с признаками локальной окислительной деструкции в виде фоксингов, пожелтевших краев листов, приводит к появлению на ней повторяющих форму окисленных участков, имеющих на контактирующем с ней листе, так называемых отпечатков, потому что они содержат низкомолекулярные промоторы окисления целлюлозы.

Для доказательства версии локальной окислительной деструкции были проведены измерения кислотности бумаги. Определение рН в зоне фоксингов и в окружающей бумаге показало, что в местах их образования бумага всегда более кислая. Разница в величине рН, по нашим данным, колебалась от 0,19 до 0,86 единиц и зависела от вида бумаги и стадии формирования пятен. Наибольшая разница в величине рН была в начальной стадии развития пятен<sup>37</sup>. По данным других исследователей, рН в местах фоксинговых пятен ниже на 0,1–1,5 единицы по сравнению с другими локациями на том же листе<sup>38</sup>.

появления // Консервация и реставрация музейных ценностей. Объекты на бумаге и пергаменте: Материалы I научно-практической конференции (Москва, 21–23 ноября 2000 г.): Труды Государственного исторического музея. – М., 2002. Вып. 129. С. 27–31.

<sup>37</sup> Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В., Дмитриева М.Б. Указ. соч.

<sup>38</sup> Xie Y., Chen Y. Foxing on the backs of Chinese paintings // Scientific Research on the Pictorial Arts of Asia / The Smithsonian Institution. – Washington, 2005. P. 92–98.

Следует отметить, что кислотность бумаги начальных и последних листов в книгах более высокая, чем в блоке. В пределах одного листа она выше на полях, потому что окислительные процессы здесь проходят более интенсивно, как и в фоксингах.

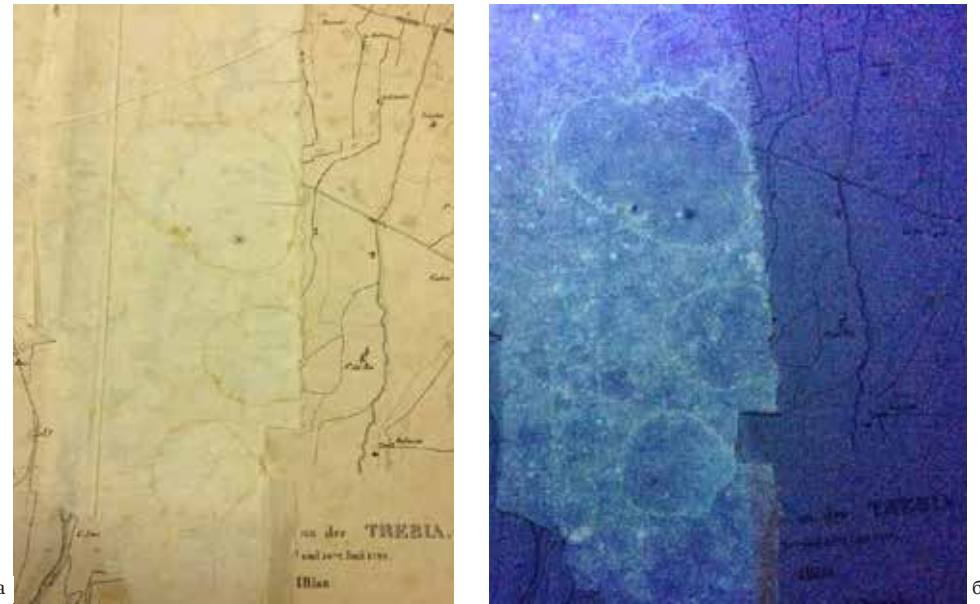
Методом электронно-зондового рентгеноспектрального анализа нам не удалось обнаружить в фоксинговых пятнах более высокого содержания Fe и Cu, чем в окружающей бумаге. Методом электронной парамагнитной резонансной (ЭПР) спектроскопии в образцах, отобранных с поля карты XIX века, были обнаружены свободные радикалы, ионы железа и меди, как в фоксинговых пятнах, так и вне их. Карта находилась внутри стопки документов, но одно из ее полей выступало за пределы стопки. Именно на этой части карты, незащищенной от действия света и пыли, началось развитие фоксингов. С помощью ЭПР спектроскопии было показано, что в пробах, отобранных в зоне пятен, интенсивно люминесцирующих в УФ, свободных радикалов было почти в два раза больше, чем в бумаге, на которой фоксинги не были обнаружены, и которая была защищена от действия света и пыли. Содержание ионов Fe<sup>+3</sup> было не намного выше, чем вне их<sup>39</sup>.

Биотическая версия образования фоксингов была проверена. В результате микроскопического исследования в их составе обнаружены отдельные споры и фрагменты мицелия грибов, как и в ранее проведенных исследованиях<sup>40</sup>. Результаты посевов на стандартные среды подтверждали микроскопическую картину. Из пятен были выделены немногочисленные изоляты грибов, обычно присутствующие на волокнах старой бумаги и входящие в состав поверхностных загрязнений. В результате развития колоний грибов на бумаге были получены небольшие пигментные пятна, похожие на фоксинги, но они не люминесцировали в ультрафиолете, наблюдались лишь слабо светящиеся ореолы вокруг пятен. Проведенный эксперимент показал, что ограниченный рост грибов может привести к образованию пятен бурого цвета, но существует другой механизм их формирования, являющийся главенствующим.

Версия локальной окислительной деструкции бумаги была проверена на моделях. Листы бумаги для хроматографии, хранившиеся в стопке в течение 27 лет, были сложены вдвое и размещены в Фонде рукописей и редких книг Российской государственной библиотеки (РГБ). Листы брали из середины стопок бумаги, просматривали в ультрафиолете, чтобы убедиться в отсутствии признаков развития фоксингов. Рядом с ними поместили образцы тряпичной бумаги XVIII века, размером 3 × 8 см, с фоксингами в разной стадии развития. Они были закреплены

<sup>39</sup> Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В., Дмитриева М.Б. Указ. соч.

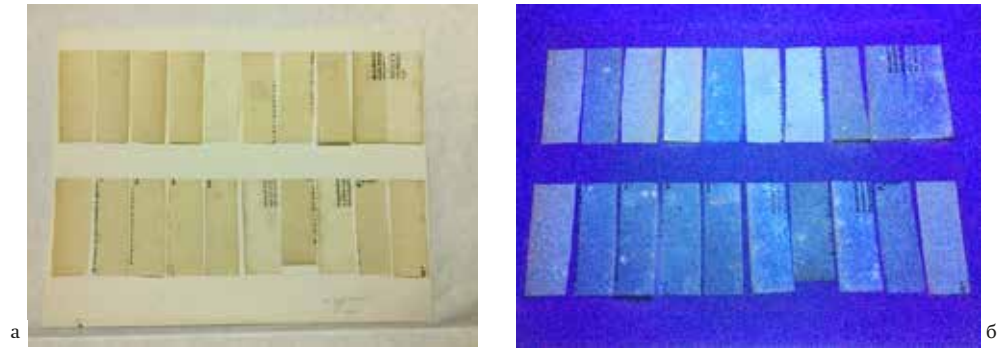
<sup>40</sup> Meynall G.G., Newsam R.J. Foxing, a fungal infection of paper // Nature. 3 August 1978. Vol. 274. P. 467–468.



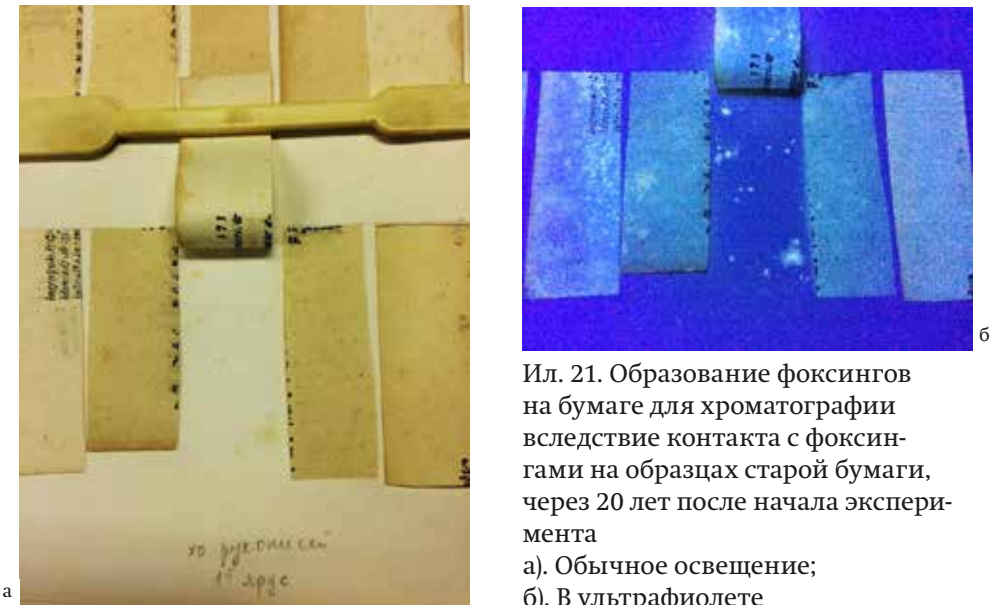
Ил. 19. Атлас XIX в. Фоксинги и затеки на плюре (тонкая прокладочная бумага). Фоксинги и края затеков одинаково окрашены при обычном освещении (а) и одинаково люминесцируют в ультрафиолете (б). Внутри затеков меньше фоксинговых пятен. Вследствие намокания водорастворимые продукты окисления целлюлозы переместились на край. В результате по краю затеков стал развиваться процесс ускоренного локального окисления

с одной стороны на других, сложенных вдвое листах бумаги для хроматографии, которая использовалась для образцов тряпичной бумаги в качестве подложки. Спустя год на участках бумаги для хроматографии, на которые падал свет, и оседала пыль, появились фоксинги, видимые при обычном освещении. Кроме того, в ультрафиолете было обнаружено множество мелких светящихся пятен. Через год от контакта с наиболее окисленными краями старой тряпичной бумаги на бумаге для хроматографии образовались отпечатки, видимые в ультрафиолете.

Через год модельные образцы были изъяты из фондов и хранились в закрытом шкафу в Лаборатории биологических исследований ГОСНИИР. Спустя 15 лет после начала эксперимента на бумаге для хроматографии появились отпечатки фоксингов, видимые в ультрафиолете, а через 20 лет – видимые при обычном освещении (ил. 20–21). Более заметными стали фоксинги, которые сформировались через год экспонирования в условиях фондов (ил. 22). Во всех случаях фоксинги образовались в условиях, исключающих развитие даже экстремально ксерофильных форм грибов.

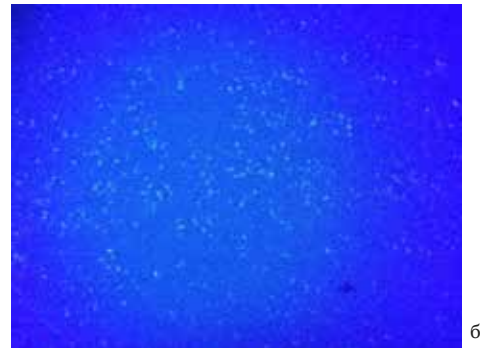
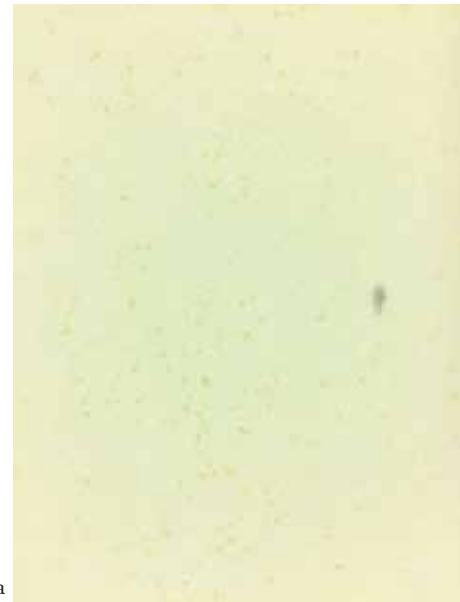


Ил. 20. Образцы тряпичной бумаги на бумаге для хроматографии, через 20 лет после начала эксперимента  
а). Обычное освещение;  
б). В ультрафиолете



Ил. 21. Образование фоксингов на бумаге для хроматографии вследствие контакта с фоксингами на образцах старой бумаги, через 20 лет после начала эксперимента  
а). Обычное освещение;  
б). В ультрафиолете

В результате проведенных экспериментов были получены доказательства предположения о том, что фоксинги являются одной из форм локальной окислительной деструкции бумаги и тканей из целлюлозных волокон. Кроме того, важным доказательством этого предположения является то, что с его помощью можно объяснить появление, расположение, частоту встречаемости и скорость



Ил. 22. Бумага для хроматографии через 20 лет после начала эксперимента

- а). Обычное освещение;  
б). В ультрафиолете

образования фоксингов, в то время как с помощью биогенной версии это невозможно.

Версия образования фоксингов вследствие локальной окислительной деструкции объясняет:

- их локализацию, которая соответствует путям проникновения света и пыли;
- большую частоту встречаемости, особенно на полях, в книгах и альбомах, чем на архивных документах, которые обычно лучше защищены от действия света и пыли; на выступающих из стопок частях документов, верхних листах подшивок, форзацах, обрезках, в деформационных складках;
- зависимость их проявления от смены технологии изготовления бумаги, повторное образование после отбеливания;
- образование отпечатков на соседних листах;
- схожесть свечения в ультрафиолете в стадии формирования со свечением границ затеков (ил. 19), краев листов, отпечатков от букв и иллюстраций;
- медленную скорость развития, образование в условиях, исключающих рост даже экстремально ксерофильных грибов.

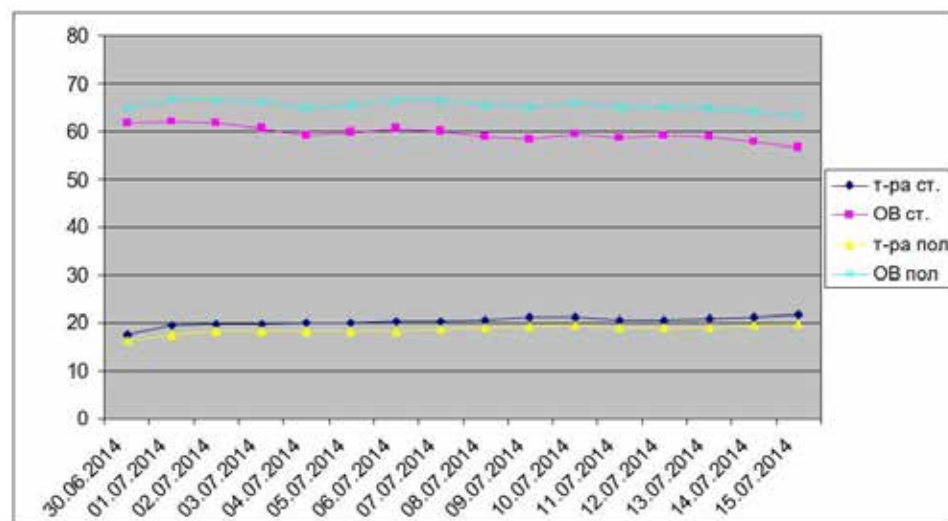
#### 2.4. Микроклиматические параметры, провоцирующие рост грибов-ксерофилов в музейных и библиотечных фондах

Могут ли в хранилищах образоваться микроклиматические ниши, в которых параметры микроклимата будут отличаться от параметров, регистрируемых датчиками, расположенными, как правило, в одной или двух точках хранилища? Иными словами, в точках, где размещены измерительные приборы, параметры микроклимата допустимы, а в местах развития микроколоний грибов они другие. Такая ситуация может возникать в хранилищах с низкой подвижностью воздуха около стен, контактирующих с грунтом, в подвалах, около наружных стен здания с более низкой, чем у внутренних стен, температурой. Так, например, в хранилище деревянной скульптуры ГТГ, в котором две стены являются наружными, наблюдался разброс в параметрах температуры и влажности в разных его частях. Около наружных стен температура была на 2°C ниже, а ОВ – на 4% выше, при нулевой подвижности воздуха в этой зоне. Кроме того, возможными причинами роста грибов могут быть кратковременные микроклиматические сбои. Например, резкое падение температуры может привести к выпадению излишка влаги из воздуха на предметы, температура которых может существенно отличаться от температуры воздуха.

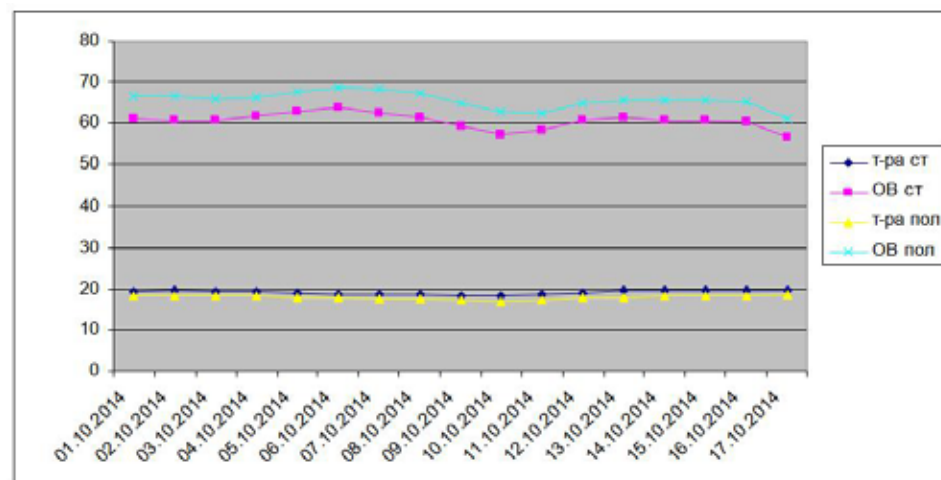
Для выявления микроклиматических зон с параметрами, отличающимися от параметров, регистрируемых в одной или двух точках помещения, были проведены натурные исследования. В местах, где наблюдались проявления роста грибов, в непосредственной близости от предметов с микроколониями помещали логгеры, регистрирующие температуру и влажность воздуха.

В Кухонном флигеле Усадьбы Кусково, в той его части, где расположен фонд мебели, были размещены два логгера: один – на краю стеллажа, примерно, на уровне 150 см от пола; второй – на полу. Все обнаруженные в хранилище микроколонии грибов развивались на предметах, стоявших на полу. Измерения проводились в июле и начале октября (ил. 23–24). И летом, и осенью температура на уровне пола была ниже, а ОВ воздуха – выше, чем на уровне стеллажа. Максимальная разница по температуре и ОВ была выше в начале июля, достигая значений – 2,1°C и 6,6%, тогда как в начале октября максимальная разница по температуре была 1,4°C и по ОВ – 5,7%. Максимальное среднесуточное значение ОВ воздуха на уровне пола в начале июля – 66,8%, при температуре 17,6°C; максимальное среднесуточное значение ОВ воздуха на уровне пола в начале октября – 68,5%, при температуре 17,8°C, что уже превышает допустимые значения ОВ.

В то же время на уровне стеллажа максимальное среднесуточное значение ОВ воздуха – 63,7%, при температуре 18,7°C. Разница температур между уровнем стеллажа и уровнем пола составляла 0,9°C.



Ил. 23. Усадьба Кусково. Кухонный флигель. ОВ воздуха на уровне 150 см от пола в первые числа июля не поднимается выше 61,9%. На уровне пола ОВ воздуха более чем на 6% выше



Ил. 24. Усадьба Кусково. Кухонный флигель. ОВ воздуха на уровне 150 см от пола в первой декаде октября (6, 7 октября) не поднимается выше 63,7%, в то же время на уровне пола ОВ воздуха – 68,5%



Ил. 25. Фрагмент картины «Море с кораблями». XVII в. В нижней части – микроколонию грибов



Ил. 26. Микроколонию грибов на участке живописи картины «Море с кораблями»

Таким образом, было показано существование микроклиматических ниш с параметрами, существенно отличающимися от регистрируемых в центре хранилища. В этих микроклиматических нишах значения ОВ воздуха превышают допустимые, в результате возникают условия для развития экстремально ксерофильных видов грибов.

После проведенных исследований сотрудниками музея были приняты меры для перемещения экспонатов из влажностных карманов в условия, неблагоприятные для роста грибов-ксерофилов. Предметы, стоявшие на полу, были по возможности установлены



Ил. 27. Микроколонию грибов на другом участке живописи картины «Море с кораблями»



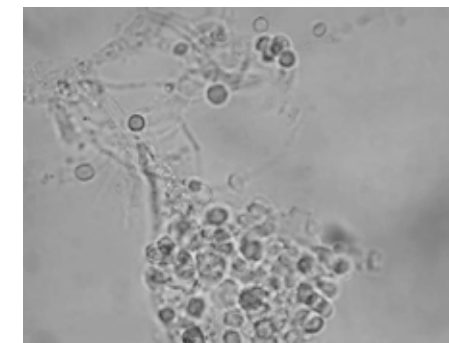
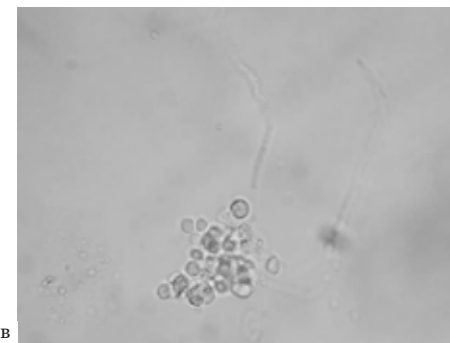
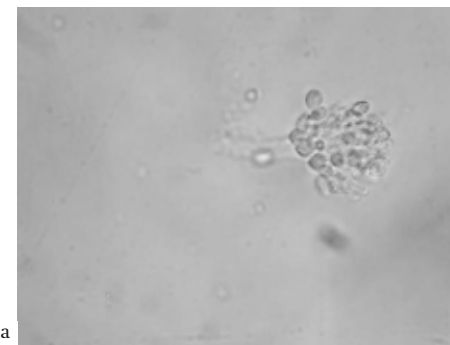
Ил. 28. Две микроколонию грибов (увеличено)

на стеллажи. В результате, развития колоний грибов на мебели не наблюдалось, за исключением 2020 года, когда была нарушена циркуляция воздуха в связи с работами по реставрации здания.

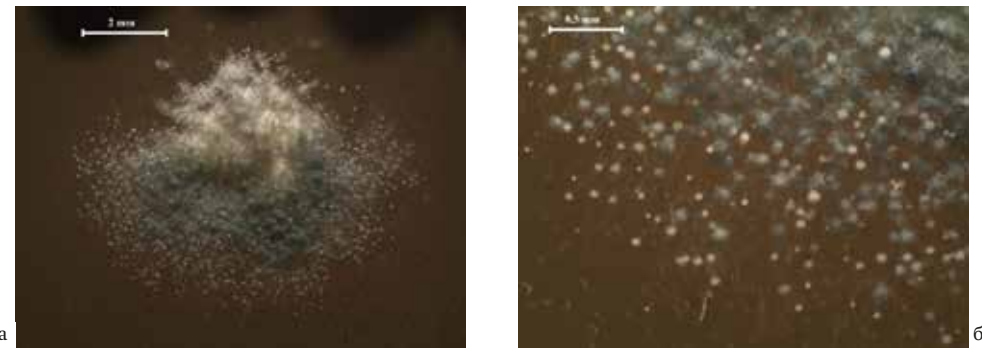
Обследование в 2023 году показало, что не только на уровне пола, но даже на первом от пола стеллаже микроклиматические условия в Кухонном флигеле способствовали развитию микроколонию грибов. Так, они были обнаружены на картине «Море с кораблями» XVII века, написанной на дереве, которая хранилась в горизонтальном положении на нижнем ярусе стеллажа, около стены. На лаковом покрытии, в нижней части картины, были небольшие, 1–3 мм в диаметре, микроколонию грибов светло-серого цвета (ил. 25–28). Также большое количество микроколонию грибов нашли на обороте картины, когда ее сняли со стеллажа (ил. 29).



Ил. 29. Микроколонию грибов на обороте картины «Море с кораблями» (а, б)



Ил. 30. Микроскопное исследование пробы из состава микроколонию грибов на лаковом покрытии картины «Море с кораблями» (а, б). Конидиеносцы, характерные для рода *Aspergillus*; (в, г). Скопления конидий и грибной мицелий, микроскоп *Leica DM LS2*



Ил. 31. Один из 30% положительных результатов пробы, отобранной с картины «Море с кораблями», 34 дня инкубации при комнатных условиях  
 а). Колония *Aspergillus penicilloides*, максимальный диаметр колонии – 6 мм, среда Чапека с 18% NaCl, микроскоп *Leica EZ 4D*,  $\times 8$ ;  
 б). Край колонии

С участков красочного слоя, на которых обнаружили микроколонию грибов, были отобраны пробы для микроскопного исследования и микологических посевов. В результате микроскопного исследования (микроскоп *Leica DM LS2*) препаратов с пробами, взятыми в местах образования микроколоний, были выявлены конидиеносцы, характерные для рода *Aspergillus*, и скопления довольно крупных конидий, шаровидной и овальной формы (ил. 30).

Учитывая опыт выделения грибов, развивающихся в виде микроколоний на музейных предметах, которые находятся в так называемых влажностных карманах, в хранилищах с допустимыми микроклиматическими параметрами (в зонах расположения регистрирующих приборов), для посева была использована среда с пониженной активностью воды.

С помощью предварительно простерилизованного глазного скальпеля небольшое количество материала из состава колоний переносилось в разные сектора чашки Петри, при этом поверхность среды со сниженной активностью воды слегка надрезалась. Визуально наблюдаемые колонии появились спустя две недели в 30% посевах. Колонии развивались медленно и были небольшого размера (ил. 31).

Микроскопическое исследование показало, что в выделенных колониях образуются конидиеносцы, характерные для рода *Aspergillus*, что еще раз подтвердило сходство морфологических признаков грибов, выделенных в культуру, и грибов, развивающихся на красочном слое картины.

Условиями, способствовавшими развитию микроколоний грибов на лаковом слое и обороте картины, были очень низкая или нулевая подвижность воздуха в Кухонном флигеле, образование застойных зон, так называемых влажностных карманов, в которых температура и ОВ



Ил. 32. Усадьба Останкино. Западный флигель дворца, «молоток». Микроколонию грибов на полу, которые были не заметны под покрытием

воздуха отличались от регистрируемых в хранилище, и наличие поверхностных загрязнений. В результате на предметах, стоявших на полу или хранившихся на стеллажах около пола, развивались экстремально ксерофильные формы грибов.

Микроколонию грибов на красочном слое живописи и обороте картины «Море с кораблями» были удалены ватными тампонами, смоченными этиловым спиртом и туго отжатыми. После антимикробной обработки и реставрации произведение будет размещено в других условиях хранения.

Микроколонию в застойных зонах запасников образуются не только на живописных произведениях и предметах прикладного искусства, но и на стенах, на полу и стеллажах. Летом 2020 года в так называемом «молотке» западного флигеля Останкинского дворца на стеллажах и некоторых экспонатах были обнаружены микроколонию грибов. До начала микологического обследования реставраторы удалили микроколонию, которые были на стеллажах и предметах. Но они не заметили колонии, которые образовались на дощатом полу, так как он на отдельных участках был накрыт плотной тканью (ил. 32).

Ранее для выявления влажностных карманов логгеры размещали в хранилище мебели ГТГ, расположенном в подвальной помещении депозитария, на уровне 200 см от пола и 30 см от пола. Измерения проводились в ноябре, в течение двух недель. Среднесуточная ОВ воздуха около пола находилась в пределах 62,2–62,7%, при температуре 17,0–17,5°C. На уровне двух метров ОВ воздуха – 59,4–60,3%, при температуре 17,5–17,8°C. Средние значения ОВ воздуха были высокими, но не выходили за допустимые пределы. Однако детальный анализ параметров показал, что кратковременно в запаснике, около пола, ОВ воздуха поднималась до 67,6%, при температуре 18°C.

Показано, что в хранилище с высокой среднесуточной ОВ воздуха даже отдельные, кратковременные ее повышения (выше допустимых пределов) могут привести к развитию экстремальных ксерофилов.

В перегруженном предметами хранилище мебели ГТГ были также сделаны замеры подвижности воздуха. В большинстве точек замера скорость движения воздуха была очень низкой (ниже 0,1 м/сек). Низкая подвижность воздуха способствует формированию зон с параметрами микроклимата, отличающимися от центральной зоны.

В запасниках музеев при допустимых значениях температуры и ОВ воздуха, регистрируемых музейными приборами в местах их расположения, возможен рост ксерофильных грибов. В фондах, где обнаружили ксерофильные грибы, с помощью логгеров были выявлены температурные и влажностные неоднородности – влажностные карманы, в которых создавались условия для роста ксерофилов.

Температурные неоднородности возникают около полов, наружных стен, а также стен, контактирующих с грунтом. Постоянству микроклиматических параметров во влажностных карманах способствует низкая подвижность воздуха. Поддержание ОВ воздуха вблизи верхней допустимой границы повышает риск возникновения микрозон, в которых создаются условия для роста экстремальных ксерофилов. Для их ликвидации необходимо устранение барьеров на пути движения воздушных потоков, усиление циркуляции воздуха.

Необходимо понизить верхнюю допустимую границу ОВ воздуха для хранения музейных предметов до 60%. Сочетание максимально допустимой температуры и влажности не должно быть продолжительным. Следует избегать резких колебаний температуры. Колебания микроклиматических параметров должны быть минимальны. Если произошел скачок температуры, необходимо усилить циркуляцию воздуха.

Предметы нужно располагать так, чтобы обеспечить циркуляцию воздуха. Для вентиляции компакт-стеллажей лучше удалить боковые панели, или ежедневно их двигать. Необходимо следить за системой вентиляции, проверять эффективность ее работы, регулярно очищать решетки и своевременно менять фильтры. Проводить мониторинг коллекций и быстро ликвидировать локальные микроклиматические нарушения.

### 3. Ксерофильные формы грибов, обнаруженные на стенописи XII века в Спасском храме Спасо-Евфросиниевского монастыря

**Н**овые возможности цифрового микроскопного исследования позволили визуализировать развитие микроорганизмов *in situ* на вертикальных и наклонных поверхностях, что особенно важно для памятников с настенной живописью.

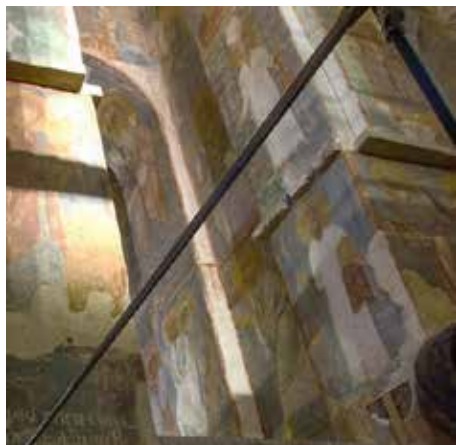
В августе 2022 года при обследовании с лесов фресок Спасской церкви XII века с помощью цифрового микроскопа были обнаружены микроколонии ксерофильных грибов. Ранее в составе микобиоты настенных росписей ксерофилы не встречались. Древние фрески сохранились, несмотря на сложную историю существования церкви и Спасо-Евфросиниевского монастыря (Полоцк, Беларусь).

Во время пребывания в монастыре иезуитов древние фрески неоднократно забеливались. В 1834–1835 годах стены церкви расписали масляными красками. Впоследствии масляную живопись неоднократно поновляли. В начале 1990-х годов началась реставрация стенописи, которую возглавил минский художник-реставратор и исследователь В. В. Ракицкий. В 2007 году, в целях ускорения раскрытия фресок, к работам были подключены московские специалисты под руководством художника-реставратора В. Д. Сарабьянова, главного искусствоведа Межобластного научного реставрационно-художественного управления (МНРХУ). В течение ряда лет большая часть фресок была раскрыта.

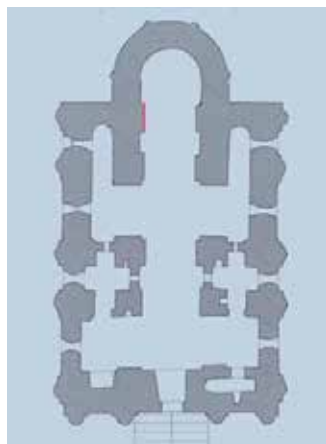
В 2021 году для проведения реставрационных работ в церкви, в том числе и на живописи, были установлены леса со сплошными полами. Они уменьшили подвижность воздуха в храме, что способствовало появлению микроколониальных форм грибов в рукавах на склонах арок. Другим фактором, благоприятным для роста грибов-ксерофилов, возможно, были остатки масляного связующего записи, которые ранее не удалось полностью удалить в процессе расчистки древней живописи. Проведенные исследования грибов-ксерофилов показали, что они развиваются на гидрофобных поверхностях, на которых впитывание капель воды затруднено, используя органические вещества в составе поверхностных загрязнений (пылевых отложений)<sup>41</sup>.

На иллюстрациях 33–36 представлено расположение композиции «Дьякон Стефан» и участки композиции, на которых были обнаружены колонии экстремальных ксерофилов (южный откос подпружной арки).

<sup>41</sup> Ребрикова Н.Л. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музеях и библиотеках. Могут ли ксерофилы быть причиной образования фоксингов? // Реставрация документа: консерватизм и инновации – 2022: Сборник материалов VI Международного научно-практического семинара / Российская государственная библиотека. – М., 2022. С. 135–145.



Ил. 33. Спасская церковь Спасо-Евфросиниевского монастыря. Композиция «Дьякон Стефан» (южный откос подпружной арки)



Ил. 34. Расположение композиции «Дьякон Стефан» на плане Спасской церкви



Ил. 36. Композиция «Дьякон Стефан» а, б). Микроколонии грибов сфотографированы на лесах с помощью цифрового USB-микроскопа *Levenhuk DTX 90*. Колонии грибов расположены, предположительно, на остатках масляной записи



а

б



в

г

Ил. 35. Верхняя часть композиции «Дьякон Стефан» а). Фрагмент; б). Участок стенописи, сфотографированный с большим увеличением; в), г). Участки стенописи, сфотографированные с большим увеличением, видны микроколонии грибов



Ил. 38. Фрагмент композиции «Первосвященник Елеазар». Участок фона, с которого делали снимки цифровым микроскопом



Ил. 37. Спасская церковь Спасо-Евфросиниевского монастыря. Композиция «Первосвященник Елеазар» (южный склон подпружной арки)



Ил. 39. Фрагмент композиции «Первосвященник Елеазар». Участок фона, с которого делали снимки цифровым микроскопом



Ил. 40. Фрагмент композиции «Первосвященник Елеазар». Микроколонии грибов сфотографированы на лесах с помощью цифрового USB-микроскопа *Levenhuk DTX 90*. Колонии грибов расположены, предположительно, на остатках масляной записи



Ил. 41. Фрагмент композиции «Первосвященник Елеазар». Микроколонии грибов сфотографированы на лесах с помощью цифрового USB-микроскопа *Levenhuk DTX 90*. Колонии грибов расположены, предположительно, на остатках масляной записи

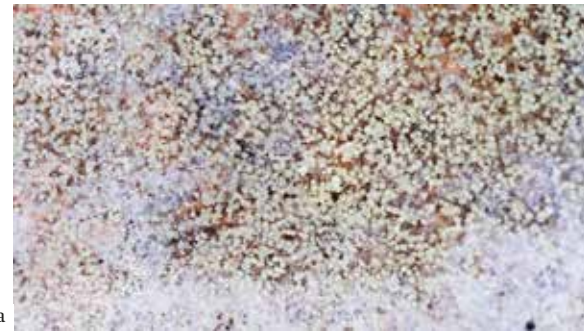


Ил. 42. Фрагмент реставрационной вставки в скуфье. Рост обычных колоний грибов вследствие протечки



Ил. 43. Фрагмент реставрационной вставки в скуфье. Видны конидиеносцы *Aspergillus sp.*, на колониях *Aspergillus sp.* развивается грибомикофил. Микроскоп *Leica EZ 4D*

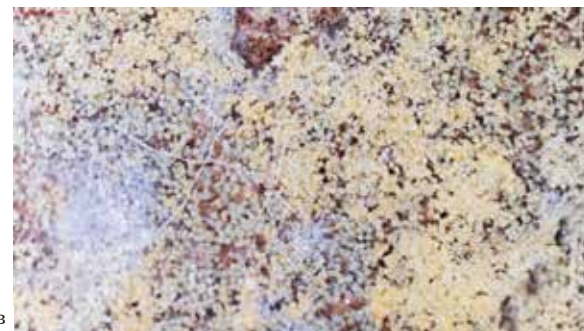
На иллюстрациях 37–41 представлена композиция «Первосвященник Елеазар» (южный склон подпружной арки), расположенная рядом с композицией «Дьякон Стефан», и обнаруженные на фоне микроколонии ксерофильных грибов, которые развивались на темных пятнах, предположительно, остатках масляной записи.



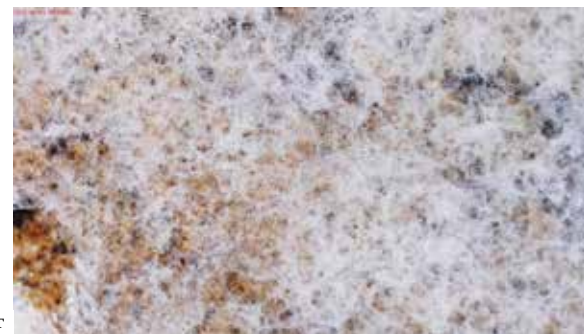
а



б

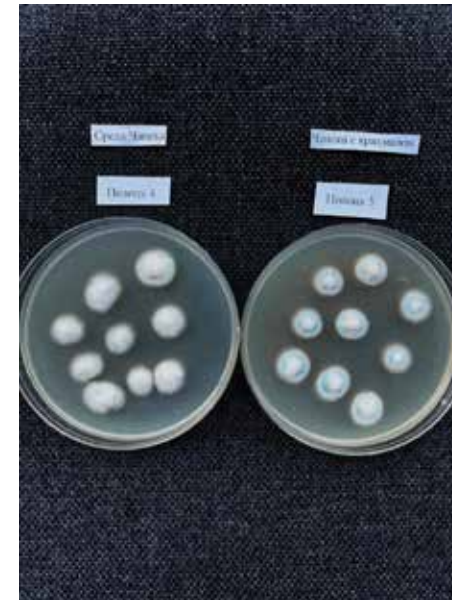


в



г

Ил. 44. Фрагмент реставрационной вставки в скуфье. Колонии грибов сфотографированы на лесах с помощью цифрового USB-микроскопа *Levenhuk DTX 90* а, б, в). Колонии двух видов *Aspergillus*, колонии *Penicillium sp.* В отличие от микроколоний, сплошной рост; г). Гриб-микофил, который развивается на колониях *Aspergillus sp.*



Ил. 45. Слева – чашка со средой Чапека, справа – чашка со средой Чапека с крахмалом, засеянные материалом, отобранным с поверхности реставрационной вставки в скуфье. Посев методом укола, шесть дней после посева, во всех посевах развиваются колонии *Penicillium sp.* Более быстро растущий на питательных средах *Penicillium sp.* мешает развитию колоний видов рода *Aspergillus*, которые хорошо видны на вставке (*in situ*) (ил. 43, 44)

В церкви обычные колонии микромицетов были обнаружены в скуфье, на реставрационной вставке (ил. 42). Причиной их развития была протечка. На вставке можно было видеть сплошной рост колоний микроскопических грибов в отличие от микроколоний ксерофилов. С помощью микроскопа *Levenhuk DTX 90* для планшета они были сфотографированы, чтобы можно было увидеть различия форм роста разных видов грибов, развивавшихся при разном уровне влажности субстрата (ил. 43–44).

С фрагментов реставрационной вставки в скуфье были сделаны микологические посева на среду Чапека и среду Чапека с крахмалом. Небольшое количество исследуемого материала с помощью глазного скальпеля, с соблюдением правил асептики, переносили в разные сектора чашки Петри диаметром 9 см. Во всех посевах можно было наблюдать начало развития колоний грибов на второй день. Через шесть дней во всех посевах выросли колонии *Penicillium sp.* (ил. 45), которые быстро развивались на питательных средах и ингибировали рост колоний *Aspergillus sp.* В таких случаях надо делать посев методом рассева пробы, делая первый укол и последующие восемь, используя один раз взятый материал.

Микроколонии грибов-экстремофилов были обнаружены еще в западном рукаве, на южном и северном склонах арки (ил. 46–47). Они располагались на штукатурных вставках, которые, возможно, более медленно впитывали воду, чем окружающие материалы. Небольшие



Ил. 46. Западный рукав, северный склон  
а). Участок, на котором были обнаружены микроколонии грибов;  
б). Исследуемый участок с большим увеличением

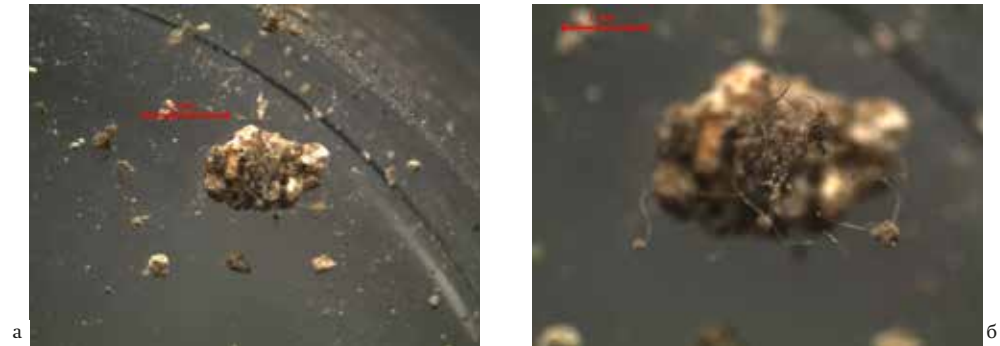


Ил. 47. Западный рукав, южный склон  
а, б). Мелкие темные точки на штукатурке – колонии ксерофилов

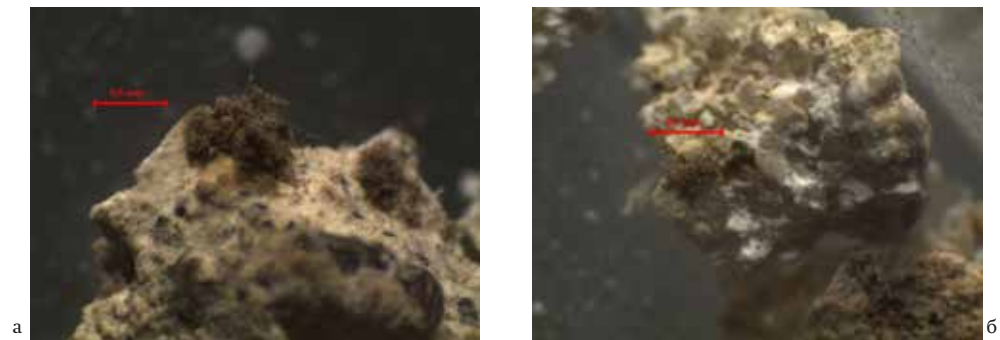
фрагменты штукатурки из западного рукава и пробы, полученные путем соскоба микроколоний с поверхности стенописи (композиция «Дьякон Стефан»), были отобраны для микроскопии и посевов в условиях лаборатории. На фрагментах штукатурки с помощью микроскопа *Leica EZ 4D* в отраженном свете можно было видеть спороносящие колонии с конидиеносцами, характерными для рода *Aspergillus* (ил. 48–49).

Из материала, отобранного с поверхности стенописи (композиция «Дьякон Стефан») и поверхности штукатурки, были приготовлены препараты для микроскопии в проходящем свете (ил. 50–51).

Посев путем переноса небольшого количества материала из микроколоний с помощью глазного скальпеля на поверхность среды Чапека в разные сектора чашки Петри дал отрицательные результаты.



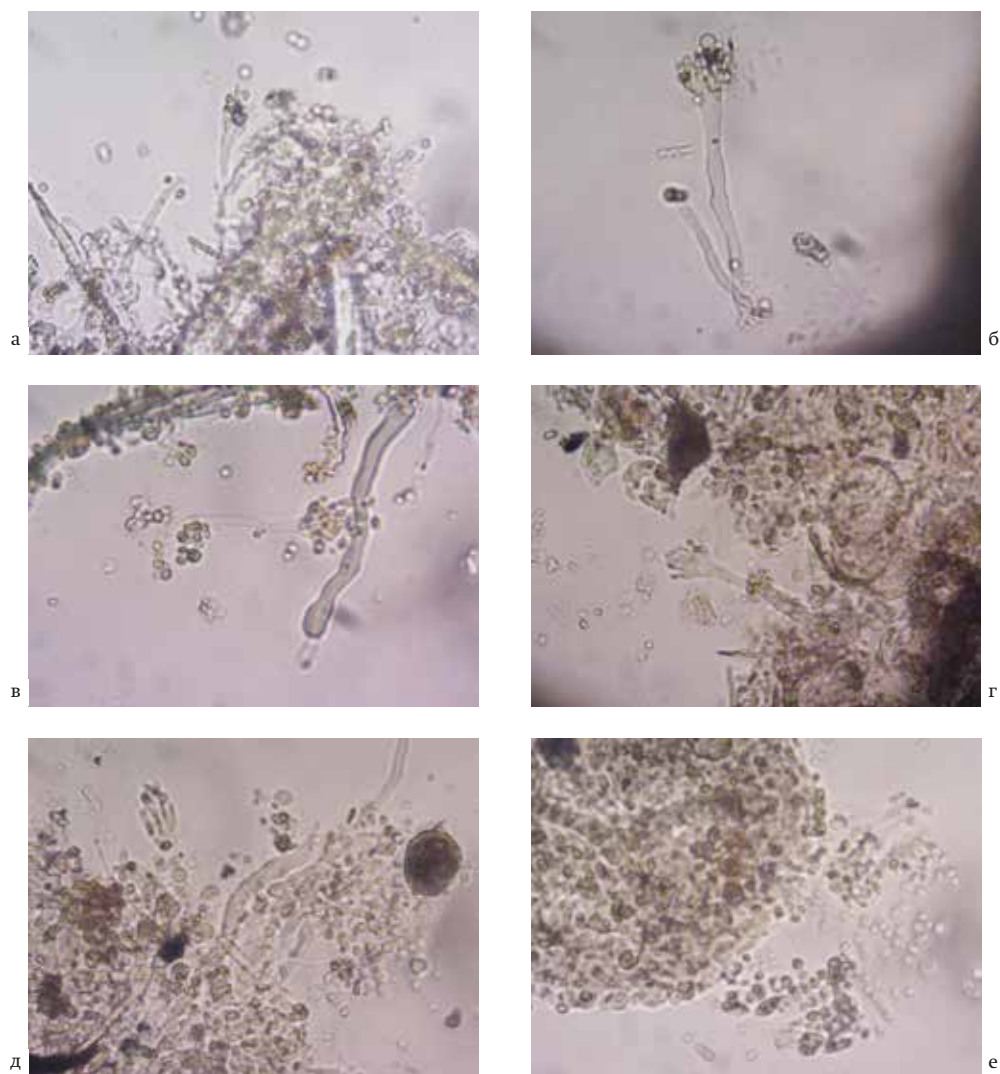
Ил. 48. Западный рукав, южный склон. Фрагмент штукатурки  
а, б). Микроколония с разным увеличением, микроскоп *Leica EZ 4D*.  
Конидиеносцы, характерные для рода *Aspergillus*



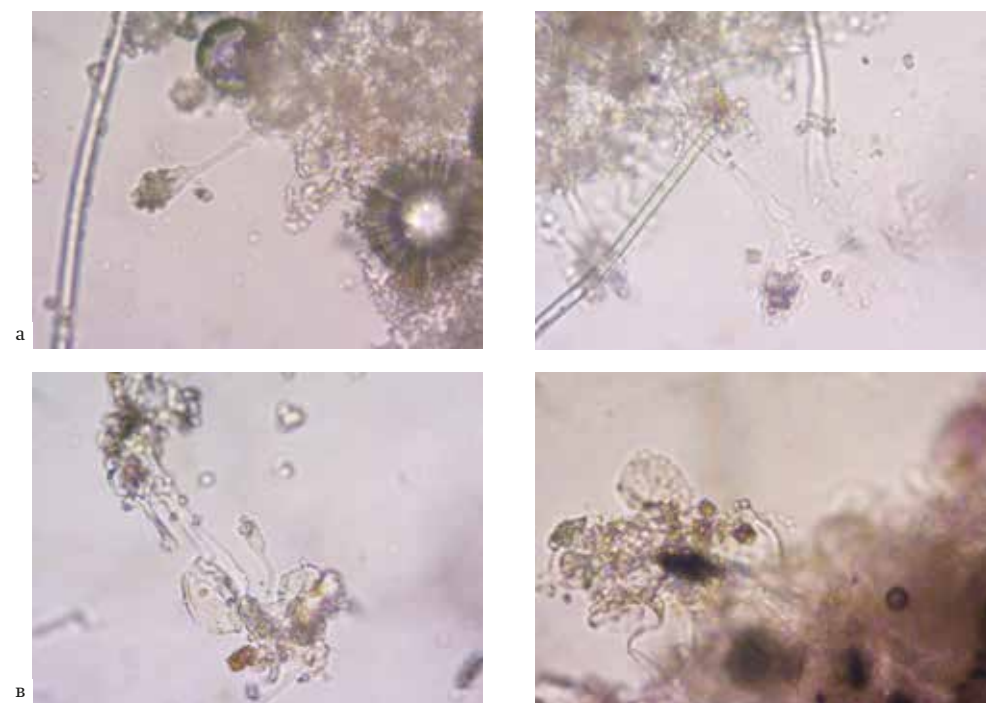
Ил. 49. Западный рукав, южный склон. Фрагмент штукатурки  
а, б). Микроколонии на штукатурке, микроскоп *Leica EZ 4D*

Ни в одном из сделанных посевов не началось развитие колоний грибов. В результате посева на среду Чапека со сниженной активностью, путем добавления в среду 17% NaCl, в части посевов (южный склон арки западного рукава, композиция «Дьякон Стефан») началось развитие колоний *Aspergillus penicilloides*, экстремально ксерофильного вида (ил. 52). В посевах с северного склона арки западного рукава рост грибов отсутствовал.

Ранее на настенной живописи микроколонии экстремально ксерофильных видов не встречались. В результате мониторинга состояния сохранности уникальных росписей была выявлена еще одна экологическая ниша для роста экстремально ксерофильных форм микромицетов.



Ил. 50. Композиция «Дьякон Стефан»  
а, б, в, г, д, е). Крупные конидии, конидиеносцы *Aspergillus*, иногда уродливой формы;  
а, д). Есть пенициллоподобные конидиеносцы



Ил. 51. Пробы штукатурки  
а, б, в). Западный рукав, южный склон;  
г). Западный рукав, северный склон. Конидиеносцы *Aspergillus*, есть пенициллоподобные конидиеносцы



Ил. 52. Посев проб, отобранных с поверхности штукатурки и композиции «Дьякон Стефан», среда Чапека с 17% NaCl

Верхняя чашка (слева): западный рукав, южный склон. В четырех из девяти посевов началось развитие колоний *A. penicilloides*;

Верхняя чашка (справа): западный рукав, северный склон. Отсутствие роста грибов;

Нижняя чашка: композиция «Дьякон Стефан». В двух из девяти посевов началось развитие *A. penicilloides*, 33-й день инкубации

#### 4. Культуральные, молекулярно-генетические, биолюминесцентные методы исследования произведений искусства, поврежденных или предположительно поврежденных микроскопическими грибами. Необходимость сочетания разных методов исследования

В последние годы использование молекулярно-генетических методов для изучения микроорганизмов-биодеструкторов памятников искусства и культуры позволило получить новые данные о био-разнообразии грибов и бактерий, присутствующих на памятниках. В то же время результаты, полученные с использованием новых технологий, поставили перед исследователями ряд вопросов, которые пока еще не все могут быть объяснены.

Были проведены исследования молекулярно-генетическими методами микробиома известных памятников со следами повреждения микроскопическими грибами и без признаков развития микроскопических грибов. Метагеномный анализ позволяет определить микроскопические грибы без необходимости их выделения и культивирования. Этим методом можно определить некультивируемые грибы и грибы, утратившие жизнеспособность.

В результате анализа микробиома икон XVI века, находящихся в экспозиции ГТГ, культуральными и культурально независимыми методами (метагеномного секвенирования) были выявлены культивируемые мицелиальные грибы, относящиеся к родам *Aspergillus*, *Cladosporium* и *Ulocladium*, и некультивируемые дрожжи, а также культивируемые и некультивируемые прокариоты. Основные представители мицелиальных грибов были выделены в чистые линии, для них проведено дополнительное секвенирование, что позволило установить видовую принадлежность: *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus creber*, *Aspergillus protuberus*, *Cladosporium halotolerans*, *Cladosporium parahalotopens*, *Simplicium lamellicola*, *Microascus paisii*. Вид рода *Ulocladium* определить не удалось<sup>42</sup>.

Следует отметить, что *Simplicium lamellicola* в прошлом сначала был *Cephalosporium lamellicola*, затем – *Verticillium lamellicola* (*Simplicium lamellicola* базионим *Cephalosporium lamellicola*, синоним *Verticillium lamellicola*).

<sup>42</sup> Подходы к снижению потенциальных рисков биологического поражения: произведения темперной живописи XV–XVI веков из Государственной Третьяковской галереи / А.А. Жгун, Д.А. Авданина, М.П. Потапов, М.Г. Степанов, Е.В. Троян, М.В. Шитов, Г.К. Нураева, Н.П. Симоненко, Л.А. Александрова, В.А. Макаров, К.В. Шумихин, А.Р. Хомутов, Е.А. Любавская, И.А. Волков, В.В. Иванов // Научно-практическая конференция имени А.П. Ковалева. 2019: Государственная Третьяковская галерея: Реставрация, консервация, исследование. – М., 2021. С. 133–145.

*Microascus paisii* базионим *Torula paisii*, синонимы *Phaeoscopulariopsis paisii*, *Scopulariopsis paisii*.

Полагаю, что при переименовании видов следует указывать в скобках предыдущие названия, под которыми эти виды указывались в более ранних публикациях. Ряд микологов считает, что в этом нет необходимости, так как информация о прежних названиях есть в Микобанке. Но есть исследователи, которые не знают о переименовании *Verticillium lamellicola* в *Simplicium lamellicola*, и информация о том, что этот вид ранее выделяли при исследовании микобиоты настенной живописи, белого камня, известковой штукатурки в памятниках архитектуры становится недоступной.

В Португалии на красочном слое картины, написанной в 1964 году акриловыми красками, методом метагеномного анализа были обнаружены мицелиальные микроскопические грибы, дрожжи и базидиальные грибы из класса *Agaricomycetes*. Присутствие на живописном произведении базидиальных грибов связали с возможностью переноса по воздуху спор и оседания их на поверхность картины при транспортировке, экспозиции и хранении. Методом метагеномного анализа можно определить все видовое разнообразие микроорганизмов, присутствующих на участке, с которого отбиралась проба. Следует отметить, что разнообразные микроорганизмы были определены и на контрольных неизмененных (непигментированных) участках красочного слоя<sup>43</sup>.

На «Автопортрете» Леонардо да Винчи после экстракции и секвенирования ДНК были обнаружены лишенизированные грибы (лишайники): *Caloplaca* spp., *Verrucaria nigrescens*. Они были выявлены в случае отбора проб с помощью стерильных ватных тампонов. Но в случае, когда для отбора проб были использованы специальные пленки, они не были обнаружены. До использования культурально независимых методов некультивируемые лишенизированные грибы никогда ранее не обнаруживались в музейных, библиотечных и архивных фондах. Полученные неожиданные результаты объяснены контаминацией произведения спорами или фрагментами мицелия лишенизированных грибов, осевшими на него из воздуха<sup>44</sup>. Молекулярно-генетические исследования «Автопортрета» Леонардо да Винчи не подтвердили версию образования фоксингов вследствие развития

<sup>43</sup> Combining an Innovative Non-Invasive Sampling Method and High-Throughput Sequencing to Characterize Fungal Communities on a Canvas Painting / H. Paiva de Carvalho, S.O. Sequeira, D. Pinho, J. Trovão, R.M.F. da Costa, C. Egas, M.F. Macedo, A. Portugal // International Biodeterioration and Biodegradation. 2019. Vol. 145. Iss. 3. P. 1–9.

<sup>44</sup> Amid the Possible Causes of a Very Famous Foxing: Molecular and Microscopic Insight into Leonardo da Vinci's Self-Portrait / G. Piñar, H. Tafer, K. Sterflinger, F. Pinzari // Environmental Microbiology Reports. June 2015. Vol. 7. Iss. 6. P. 849–859. DOI: 10.1111/1758-2229.12313

ксерофилов, но сохранили предположение о биогенной природе, и даже двойной природе их образования под действием биотических и абиотических факторов<sup>45</sup>.

Невозможность выделения грибов на стандартные среды для выделения микроскопических грибов еще не повод относить их к некультивируемым. Проблема отсутствия роста экстремально ксерофильных грибов на стандартных средах была преодолена использованием тех же сред, но с существенно пониженным водным потенциалом. Параллельно жизнеспособность грибов в составе микроколоний экстремальных ксерофилов была показана биолюминесцентным методом. Экстремофилы были обнаружены на музейных предметах и оборудовании в хранилищах с микроклиматическими параметрами, не выходящими за допустимые пределы в зонах измерения. Условия для их роста возникают во влажностных карманах, образующихся при нарушении циркуляции воздуха в хранилищах, в том числе на живописных произведениях, хранящихся в компакт-стеллажах, при поддержании ОВ воздуха вблизи верхней допустимой границы.

На основании проведенных исследований было рекомендовано понизить верхний допустимый предел ОВ воздуха для музеев, оборудованных системами кондиционирования воздуха.

Наличие микроорганизмов на произведениях искусства определяется с помощью световой и электронной микроскопии, но в силу ограничений по возможности отбора проб получаемые результаты не всегда удовлетворительны. Величину микробной нагрузки, жизнеспособность клеток можно определить по содержанию внутриклеточной АТФ в пробах. В ряде музеев есть приборы (люминометры) и соответствующие наборы реактивов для определения общего микробного числа. Этим методом определяется общее микробное число, но невозможно охарактеризовать микробиом на тестируемом участке. Определение АТФ в мицелии и спорах ксерофилов из музейных фондов позволило показать, что отрицательный результат их выделения связан с невозможностью роста грибов на средах с высоким водным потенциалом.

Несмотря на обнаружение ДНК грибов и прокариот на живописных и графических произведениях, находящихся в музеях, биоцидные обработки этих памятников не предлагаются<sup>46</sup>. Это объясняется

<sup>45</sup> Ibid.

<sup>46</sup> Combining an Innovative Non-Invasive Sampling Method and High-Throughput Sequencing to Characterize Fungal Communities on a Canvas Painting / H. Paiva de Carvalho, S.O. Sequeira, D. Pinho, J. Trovão, R.M.F. da Costa, C. Egas, M.F. Macedo, A. Portugal // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2019. Vol. 145. Iss. 3. P. 1–9; Amid the Possible Causes of a Very Famous Foxing: Molecular and Microscopic Insight into Leonardo da Vinci's Self-Portrait / G. Piñar, H. Tafer, K. Sterflinger, F. Pinzari // *Environmental Microbiology Reports*. June 2015. Vol. 7. Iss. 6. P. 849–859. DOI: 10.1111/1758-2229.12313

тем, что музейные условия хранения исключают возможность развития микроорганизмов на произведениях. Источники присутствия микроорганизмов на экспонатах разнообразны. Многие памятники несут признаки повреждения микроорганизмами, которые произошли давно, так называемые старые повреждения. Микроорганизмы, их вызвавшие, утратили жизнеспособность. Кроме того, клетки микроорганизмов могут быть жизнеспособными, но находиться в состоянии покоя, так называемые неактивные очаги, или, когда отдельные жизнеспособные клетки, осевшие из воздуха, находятся в состоянии покоя, и уровень их метаболической активности минимальный. Как уже отмечалось, молекулярно-генетическими методами можно определить присутствие на субстрате как жизнеспособных, так и нежизнеспособных микроорганизмов. Из воздуха при транспортировке, экспозиции и хранении на поверхность произведений оседают клетки микроорганизмов. Выявление ДНК микроорганизмов без подтверждения микроскопией и культуральными методами требует осторожной интерпретации и согласования с наблюдаемыми признаками изменения состояния сохранности памятника.

## 5. Мониторинг численности микроорганизмов на стенописи Рождественского собора Ферапонтова монастыря методом люминесцентного анализа

### 5.1. Введение

Есть мнение, что биоцидные обработки могут обеспечить микологическую безопасность художественных произведений в условиях, когда причины развития грибов сохраняются. Однако микроорганизмы быстро приобретают устойчивость к биоцидным препаратам. Использование биоцидов в экспозиционных залах и запасниках строго регламентируется как с точки зрения экологической безопасности внутри музея, так и с точки зрения сохранности произведений, включая отдаленные последствия применения биоцидного препарата.

Поэтому для обеспечения микологической безопасности необходимо определить причины развития грибов. Если при обследовании обнаружены колонии, то их нужно устранить и постоянно поддерживать условия, исключающие возможность роста грибов. Для предупреждения развития микроколоний необходимо ликвидировать застойные зоны. Изменение микроклиматических параметров лишает возможности роста даже экстремальных ксерофилов.

Биолюминесцентный метод позволяет определить общее микробное число на единицу анализируемой поверхности, микробную нагрузку на том или ином материале. Он относится к категории экспресс-анализов. Благодаря скорости выполнения этот метод удобен для проведения мониторинга численности микроорганизмов, например, на стенописи в процессе нормализации температурно-влажностного режима стен памятника. Приведем пример его использования для мониторинга численности микроорганизмов на стенописи Рождественского собора Ферапонтова монастыря 1502 года.

Мониторинг динамики численности микроорганизмов позволил проследить изменение влажностного режима стенописи и строительных материалов в процессе работ по нормализации микроклимата памятника. Отслеживая с помощью биолюминесцентного анализа процесс реколонизации микроорганизмами предварительно расчищенных участков стенописи, можно оценить состояние тепло-влажностного режима конструкции.

Выделение микромицетов и других микроорганизмов с исследуемого субстрата на питательные среды требует много труда (приготовление сред, посев) и времени, необходимого для роста колоний и их последующего учета. Кроме того, питательные среды и условия культивирования не могут быть универсальными для всех исследуемых микромицетов. Определить жизнеспособные клетки микроорганизмов и оценить их количество можно по содержанию АТФ (аденозинтрифосфата)

в пробе. АТФ присутствует во всех живых клетках. Если в исследуемом материале нет клеток животных или растений, наличие АТФ является индикатором микробной контаминации. Метод измерения АТФ основан на явлении биолюминесценции, когда энергия, высвобождающаяся в ходе химической реакции, преобразуется в световую. Этот метод не позволяет определить видовой состав микроорганизмов, отследить смену доминирующих форм, но он экспрессен и дает ценный дополнительный материал для результатов выделения и учета колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов.

В молекуле АТФ есть две макроэргические связи. В ходе ферментативной окислительно-восстановительной реакции, инициируемой люциферин-люциферазным комплексом, при отщеплении остатков фосфорной кислоты освобождается энергия. Она используется для возбуждения молекул люциферин-люциферазного комплекса, последующее возвращение молекул в стабильное состояние сопровождается излучением в видимой области спектра. Световую эмиссию можно измерить фотометрически люминометром в относительных световых единицах. Яркость свечения зависит от концентрации вступающих в реакцию молекул.

Контроль уровня микробной контаминации по содержанию внутриклеточного АТФ в пробах позволяет сократить время, необходимое для проведения мониторинга количества микроорганизмов, увеличить количество тестируемых участков. Он может быть пригоден для оценки эффективности мер, направленных на защиту памятников от разрушения микроорганизмами.

### 5.2. Методы исследования

Для определения АТФ были использованы микролюминометр (модель 3560) фирмы «New Horizons Diagnostic Corporation» и набор реактивов «Люмтек» (ил. 53) для определения биологической чистоты (наличия микробных клеток) поверхностей с высоким уровнем контаминации микроорганизмами биолюминесцентным методом.



Ил. 53. Микролюминометр (модель 3560)

Стерильным тампоном снимали налет с участка поверхности стенописи, площадью  $1,5 \times 1,5$  см, ограниченного шаблоном (ил. 54–55). Затем тампон погружали в пробирку с 0,2 мл раствора для разрушения микробных клеток, выдерживали в течение 2–3 минут, периодически вращая. После этого



Ил. 54. Северная стена жертвенника. Тестируемый участок полотенца под нишей (а, б)



Ил. 55. Пробная расчистка  
а). Откос окна  
Никольского придела.  
Пробная расчистка;  
б). Южная стена четверика. Тестовый участок на стенописи



Ил. 56. Биопленка на нерасчищенном, тестовом участке стенописи. Внизу видны следы, оставшиеся после отбора проб, в виде маленьких темных квадратов

0,02 мл раствора образца, содержащего разрушенные микробные клетки, переносили в микрокювету, в которую добавляли 0,05 мл раствора АТФ-реагента и 0,05 мл раствора для реконструкции АТФ-реагента, быстро перемешивали содержимое и измеряли билюминесцентный сигнал ( $I_{обр.}$ ). Во вторую микрокювету также вносили 0,02 мл образца и вышеупомянутые реагенты. В каждом случае, путем нескольких измерений, фиксировали максимальное значение сигнала. Затем по результатам, полученным для каждой кюветы, находили среднее значение билюминесцентного сигнала для исследуемого образца.

Калибровку АТФ-реагента по АТФ-контролю проводили следующим образом. В стерильную пробирку вносили 0,2 мл раствора для разрушения микробных клеток. Стерильный ватный тампон погружали в раствор АТФ-контроля, имеющего концентрацию АТФ 10 пикомоль/мл. Затем его переносили в пробирку с раствором для разрушения микробных клеток, из которой 0,02 мл отбирали в микрокювету, в которую добавляли 0,05 мл АТФ-реагента и 0,05 мл раствора для реконструкции АТФ-реагента, для измерения сигнала ( $I_{контр.}$ ). Концентрацию АТФ на  $2,25 \text{ см}^2$  рассчитывали по формуле:  $[АТФ, \text{пикомоль/мл}]_{обр.} = 2,5 \times (I_{обр.}) : (I_{контр.})$ , [пикомоль/мл].

Количество АТФ пропорционально количеству живых клеток микроорганизмов, присутствующих на поверхности, с которой была взята проба.

По описанной методике были проведены исследования степени контаминации стенописи микроорганизмами в Софийском соборе в Вологде и Рождественском соборе Ферапонтова монастыря.

В соборе Рождества Пресвятой Богородицы с помощью билюминесцентного метода проводился постконсервационный микробиологический мониторинг. В ходе консервационных работ со стенописи были удалены налеты микроорганизмов и поверхностных загрязнений. Было оставлено несколько нерасчищенных участков, которые позволяли вести наблюдение за изменением количества микроорганизмов на стенописи под влиянием изменения тепло-влажностного режима конструкций собора (ил. 54–56).

### 5.3. Результаты мониторинга

Одновременно, рядом с пробами для билюминесцентного анализа, были отобраны пробы для посевов методом серийных разведений. Так как их надо было транспортировать, чтобы сделать посева в лабораторных условиях, пришлось, в отличие от билюминесцентного метода, отбирать пробы с помощью сухого тампона. Численность микроорганизмов, определенная методом серийных разведений, была ниже, чем определенная билюминесцентным методом. Возможно, это связано

с тем, что при использовании влажного тампона происходит более полное удаление поверхностных наслоений. Результаты определения количества микроорганизмов на стенописи Рождественского собора биолюминесцентным методом представлены в таблице 2.

Таблица 2. Количество колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов на 2,25 см<sup>2</sup> стенописи Рождественского собора (на расчищенных и нерасчищенных участках; в начале мониторинга, один и два года спустя)

№	Участки отбора проб	[АТФ, пикомоль / мл] <sub>обр.</sub>	Количество КОЕ на 2,25 см <sup>2</sup> поверхности
1.	Южная стена четверика, нерасчищенное полотенец под композицией «Третий Вселенский собор», внешний круг медальона, уголь с известью, 40 см от уровня пола	1,4	280
2.	Там же, со сдвигом вправо	1,8	360
3.	Северный портал, правый склон арки, надпись, рефть, 220 см от уровня пола (через 1 год после расчистки)	0,5	100
4.	Южный портал, левый склон арки, орнаментальная полоса, штукатурный слой, 250 см от уровня пола (через 1 год после расчистки)	1,1	220
5.	Южный портал, левая сторона, контрольный участок с налетом, образованным микроорганизмами и поверхностными загрязнениями, рефть, 15–20 см от уровня пола	29,9	6000
6.	Северный портал, внешняя сторона, слева, средняя балясина, ангоб, 200 см от уровня пола (расчистка в год начала мониторинга)	0,3	70
7.	Южная стена четверика, нерасчищенное полотенец под композицией «Третий Вселенский собор», рефть, 15 см от уровня пола	31,1	6200
8.	Южная стена Никольского придела, композиция «Перенесение мощей святого Николая», горка, глауконит, 220 см от уровня пола (через 2 года после расчистки)	0,62	120

9.	Там же, композиция «Перенесение мощей святого Николая», башня, желтая охра, 220 см от уровня пола (через 2 года после расчистки)	0,98	200
10.	Южная стена четверика, нерасчищенное полотенец под композицией «Третий Вселенский собор», коричневая кайма полотенец, 30 см от уровня пола	9,0	1800
11.	Южная стена Никольского придела, полотенец под композицией «Чудо о ковче», коричневая кайма полотенец, 40 см от уровня пола (через 2 года после расчистки)	0,77	150

С помощью биолюминесцентного метода удалось выявить даже незначительные различия в численности микроорганизмов на расчищенной живописи. Выявить такие небольшие различия чашечным методом, учитывая его погрешность, затруднительно.

Микробиологический мониторинг стенописи Рождественского собора с использованием биолюминесцентного метода был продолжен. Поскольку состояние сохранности красочного слоя настенной живописи в ряде случаев не позволяло проводить отбор проб с помощью увлажненного тампона, на некоторых тестовых участках стенописи пробы отбирали как увлажненным тампоном, так и сухим, чтобы сравнить, насколько будут занижены результаты определения АТФ в пробах, отобранных с помощью сухого тампона. В 2009 году, по сравнению с началом мониторинга численности микроорганизмов, было расширено число тестируемых участков (табл. 3).

Таблица 3. Количество колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов на стенописи Рождественского собора через два и три года после начала мониторинга

№	Участки отбора проб	АТФ пикомоль/мл	Количество КОЕ на 2,25 см <sup>2</sup> поверхности
1.	Северный портал		
1.1.	Балясина верхнего ряда, справа от входа, ангоб, 2 м от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,01; 0,15	20; 30
1.2.	Балясина верхнего ряда, слева от входа, ангоб, 2 м от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,27; 0,24	53; 48

1.3.	Там же, начальный уровень	0,30	70
1.4.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)*	–	30
2.	Южная стена четверика, нерасчищенное полотенце		
2.1.	Рефть, 20 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	8,13	1600
2.2.	Там же, 15 см от уровня пола (начальный уровень)	31,1	6200
2.3.	Там же, 10 см от уровня пола (через 3 года после начала мониторинга)*	–	1000
2.4.	Рефть, 25 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	74,6; 60,6	15000; 12000
2.5.	Там же, 30 см от уровня пола (через 3 года после начала мониторинга)	9,0	1800
2.6.	Внешняя полоса медальона, уголь с известью, 40 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	14,6	2900
2.7.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)	1,4	280
2.8.	Контрольный расчищенный участок, левкас, 60–70 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,26	52
2.9.	Контрольный расчищенный участок, коричневая орнаментальная полоса, красочный слой мелит, 150 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	2,17; 1,95	434; 390
2.10.	Там же, левкас (через 2 года после начала мониторинга)	0,29	59
2.11.	Там же, 140 см от уровня пола, левкас* (через 2 года после начала мониторинга)	–	40
3.	Откос северного дверного проема, «Летопись», правая сторона		
3.1.	Рефть, 220 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,20; 0,16	40; 32
3.2.	Там же, начальный уровень	0,25; 0,50	50; 100
3.3.	Левая сторона, рефть, 220 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,26; 0,24	52; 49
3.4.	Там же, сухой тампон (через 2 года после начала мониторинга)	0,23	45
4.	Левый откос южного дверного проема		
4.1.	Белая орнаментальная полоса, 2,5 м от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,36; 0,29	72; 59
4.2.	Нерасчищенный контрольный участок, рефть, 15–20 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	36,5; 32,1	7300; 6400
4.3.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)	29,9	6000
4.4.	Рядом с нерасчищенным участком, рефть, 15–29 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,89; 0,78	177; 156

5.	Южная стена Никольского придела		
5.1.	Полотенце под печурой, коричневая орнаментальная полоса, 40 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,39; 0,36	78; 72
5.2.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)	0,77	150
5.3.	Рядом с предыдущим участком (через 2 года после начала мониторинга)	0,22	44
6.	Южная стена Никольского придела		
6.1.	Полотенце под композицией «Перенесение мощей святого Николая», рефть, 30–40 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	1,04; 1,19	209; 238
6.2.	Там же (через 2 года после начала мониторинга)*	–	251
6.3.	Нерасчищенный контрольный участок, рефть, 20 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	52; 46	10000; 9200
6.4.	Там же, сухой тампон (через 2 года после начала мониторинга)	12; 11	2400; 2200
7.	Южная стена Никольского придела		
7.1.	Композиция «Перенесение мощей святого Николая», охра, 170 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,32; 0,36	65; 72
7.2.	Там же, охра, 220 см от уровня пола (начальный уровень)	0,98	220
7.3.	Глауконит, орнаментальная полоса, 160 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,51; 0,57	102; 114
7.4.	Там же, глауконит, 220 см от уровня пола (начальный уровень)	0,62	120
7.5.	Там же, глауконит, 170 см от уровня пола (через 3 года после начала мониторинга)*	–	230
8.	Северная стена Никольского придела		
8.1.	Композиция «Избавление трех мужей от меча», охра, красочный слой мелит, 170 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	1,04; 1,05	208; 210
8.2.	Глауконит, 170 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	1,25; 1,29	251; 258
9.	Северная стена жертвенника		
9.1.	Полотенце под нишей, рефть, тампон окрашивается, 30 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	160; 156	32000; 31000
9.2.	Там же, рядом (через 2 года после начала мониторинга)	29,8; 29,5	5900; 5900
9.3.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)*	–	1700
9.4.	Красно-коричневая орнаментальная полоса, мелит, 35 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	107	21000
9.5.	Левкас, над орнаментальной полосой, 45 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	6,94	1400

9.6.	Правее участка под нишей, рефть, 30 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,60; 0,63	121; 127
9.7.	Красно-коричневая орнаментальная полоса, мелит, 130 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	87,4; 121,4	17000; 24000
9.8.	Красно-коричневая разгранка, мелит, 150 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	36,2; 30,3	7200; 6100
9.9.	Рефть под разгранкой, 140 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	17,2; 17,1	3400; 3400
10.	Откос окна в жертвеннике		
10.1.	Рефть (через 2 года после начала мониторинга)	0,15; 0,16	30; 33
11.	Северная стена четверика		
11.1.	Северо-западный угол, рефть, 20 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,74	149
11.2.	Там же (через 3 года после начала мониторинга)*	–	70
12.	Западная стена четверика		
12.1.	Юго-западный угол, рефть, 20 см от уровня пола (через 2 года после начала мониторинга)	0,81	163
13.	Откос окна в Никольском приделе		
13.1.	Розовый налет, ниже расчищенного квадрата (через 2 года после начала мониторинга)	5,20; 4,93	1000; 990
13.2.	Розовый налет, ниже расчищенного квадрата, правее предыдущей пробы (через 2 года после начала мониторинга)	9,40; 9,12	1900; 1800
13.3.	Расчищенный контрольный участок (через 2 года после начала мониторинга)	0,36; 0,52	76; 104
14.	Церковь Мартинаана, композиция на наружной стене Рождественского собора «Богородица Печерская»		
14.1.	Штукатурка, внизу над зоной деструкции кирпича (через 2 года после начала мониторинга)	5,26; 4,42	1000; 880
14.2.	Штукатурка, над предыдущей пробой, в верхней части композиции (через 2 года после начала мониторинга)	0,18; 0,19	36; 38

\*Анализ проводили методом серийных разведений

Как показали проведенные исследования, уровень контаминации микроорганизмами стенописи нижнего яруса после консервационных работ невысокий. Высокая численность микроорганизмов продолжает сохраняться на оставленных нерасчищенными контрольных участках (полотенце, слева от входа из ризницы; полотене на южной стене Никольского придела и других) и нерасчищенном откосе окна в Никольском приделе. Вероятно, это связано с тем, что микроорганизмы в состоянии покоя могут длительно сохранять

жизнеспособность. Большое содержание АТФ было в пробах, отобранных на северной стене жертвенника, – это рефтяные участки, орнаментальные коричневые полосы полотенца и разгранка. Из-за состояния сохранности красочного слоя поверхностные загрязнения здесь не были удалены полностью. Не было существенной разницы в результатах отбора проб увлажненным или сухим тампоном с участков стенописи с низким уровнем контаминации микроорганизмами. Результаты отбора проб сухим тампоном с участков стенописи с высоким уровнем микробной контаминации давали более низкие значения количества микроорганизмов. Численность микроорганизмов была также связана с состоянием красочного слоя. На мелящих участках численность микроорганизмов была больше, чем на не мелящих, при прочих равных условиях. Результаты посевов, сделанных методом серийных разведений, согласовывались с результатами биолюминесцентного анализа (табл. 3).

#### 5.4. Модификация метода биолюминесцентного анализа поверхностей для анализа деструктурированных строительных материалов

Набор «Люмтек» для определения общей микробной обсемененности предполагает отбор проб с поверхности методом смыва. Поскольку в наших исследованиях нам часто приходится отбирать пробы деструктурированной штукатурки, белого камня и других строительных материалов, представляющие собой порошкообразную массу, то было необходимо модифицировать биолюминесцентный метод анализа, чтобы, располагая люминометром, можно было бы тестировать более широкий круг материалов. С этой целью были отобраны пробы деструктурированных строительных материалов и фоновые пробы – строительные материалы из того же помещения без признаков деструкции, которые анализировались следующим образом.

Сначала измеряли биолюминесцентный сигнал АТФ-контроля. С этой целью во флакон № 1 (АТФ-реагент, лиофильно высушенный) вносили 2 мл раствора из флакона № 2 (раствор для реконструкции АТФ-реагента), после холодильника выдерживали 30 минут перед использованием, таким образом, получали раствор АТФ-реагента. Измеряли фон, в кювету вносили 100 µl раствора АТФ-реагента. Затем калибровали АТФ-реагент по АТФ-контролю. Во флакон № 3 (АТФ-контроль, лиофилизированный) вносили 1 мл раствора из флакона № 5 (раствора для смачивания тампонов), получали раствор АТФ-контроля. Полученный раствор имеет концентрацию АТФ – 10 пикомоль/мл. В стерильную пробирку типа «эппендорф» переносили 40 µl АТФ-контроля из флакона № 3, добавляли 160 µl раствора для разрушения клеток, перемешивали. В кювету

для измерения отбирали 20µl пробы АТФ-контроля, подготовленной, как указано выше, и 100µl АТФ-реагента. Перемешивали, прокачав смесь 2–3 раза через наконечник дозатора, и измеряли биolumинесцентный сигнал на люминометре.

В ступке стерильно растирали сыпучий материал, из него отбирали 50 мг пробы в стерильную пробирку типа «эппендорф», в которую добавляли 0,5 мл раствора для смачивания тампонов (флакон № 5), содержимое перемешивали в течение 20 минут, используя автоматический встряхиватель. Затем 40µl суспензии из средней фазы переносили в стерильную пробирку типа «эппендорф», добавляли в нее 160µl раствора для разрушения клеток (флакон № 4) и перемешивали. В кювету для измерения отбирали 20µl пробы, подготовленной, как указано выше, и добавляли 100µl АТФ-реагента, перемешивали, прокачав смесь 2–3 раза через наконечник дозатора, и измеряли биolumинесцентный сигнал на люминометре. Полученные результаты свидетельствуют о применимости разработанной методики для определения уровня микробной контаминации сыпучих материалов.

Контроль уровня микробной контаминации по содержанию внутриклеточного АТФ в пробах позволяет сократить время, необходимое для микробиологического мониторинга, увеличить количество тестируемых участков. Он может быть пригоден для оценки эффективности мер, направленных на защиту памятников от разрушения. Количество АТФ можно определять не только в смывах с поверхности, но, при доработке методики, и в разрушенном белом камне, и в штукатурке (сыпучие материалы).

## 6. Биостойкость реставрационных материалов.

### В каких ситуациях необходимы средства защиты

Требования к биостойкости реставрационных материалов необходимо соотносить с условиями хранения и биостойкостью материалов реставрируемого памятника. С одной стороны, это могут быть музеи, библиотеки, архивы с регулируемым микроклиматом, который обеспечивает защиту от микробиологических повреждений всех небюджетных материалов, а с другой – неотопливаемые памятники архитектуры с настенной живописью и памятники на открытом воздухе. Микроклиматические параметры воздушной среды и температурно-влажностный режим ограждающих конструкций экспозиционных залов и запасников должны обеспечивать микробиологическую безопасность всех музейных предметов и музейного оборудования.

Материалы живописи и большинства музейных предметов подвержены биоразрушениям<sup>47</sup>. Отреставрированные с использованием устойчивых реставрационных материалов живописные произведения, предметы из дерева, кожи, тканей, рукописи, редкие книги все равно будут нуждаться в условиях хранения, обеспечивающих биологическую безопасность. Снижают биостойкость реставрируемых материалов – бумаги, тканей, кожи и других – природные клеи, особенно мучные, делаю их более привлекательными и уязвимыми для насекомых и микроорганизмов. Так, например, широко известно повреждение хлебным точильщиком переплетенных с использованием мучного клея документов и книг. В аварийных ситуациях и в случае нарушений температурно-влажностного режима проклеенные предметы, укрепленные природными клеями, или их отдельные участки повреждаются микромицетами быстрее.

Низкая биостойкость является отличительной особенностью клеев природного происхождения – осетрового, кожного, мездрового, желтка куриного яйца, камедей, мучных клеев, используемых в практике реставрации. С давних времен для придания растительным и животным клеям большей биостойкости использовали поддубливание их квасцами. Чтобы предотвратить развитие гнилостных бактерий желтковую эмульсию подкисляли с помощью уксуса. Известно использование для защиты клеев антисептических средств: камфары, гвоздичного масла, карболовой кислоты (фенола), тимола, β-нафтола, формалина

<sup>47</sup> Воронина Л.И., Аракчеева Д.З. Защита художественных грунтованных холстов от плесневения // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ВЦНИЛКР. – М., 1977. № 3 (33). С. 32–40; Воронина Л.И., Назарова О.Н. Грибостойкость художественных красок и новый способ их защиты от микробиологических повреждений // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ВНИИР. – М., 1980. № 6 (36). С. 131–144.

или уротропина (продукта конденсации аммиака с формальдегидом)<sup>48</sup>. Все названные соединения являются веществами – консервантами, обеспечивающими биоустойчивость растворов клеев на время работы с ними. Поскольку большинство из них летучи, то они либо полностью испаряются из клеевых пленок, либо остаются в них в небольшом количестве, в связанном виде, и в результате не обеспечивают пролонгированной защиты.

В коллоидных растворах и эмульсиях природных соединений, не содержащих антисептиков, быстро развиваются бактерии, дрожжи, а на поверхности – мицелиальные грибы. Природные клеи в виде пленок и введенные в состав реставрируемых произведений, потеряв большую часть содержащейся в них воды, становятся недоступными для роста бактерий. Если высыхание клеев проходит замедленно, то участки экспонатов, укрепленные ими, могут быть повреждены плесневыми грибами. В музеях, библиотеках и архивах хранится большое количество предметов из природных материалов, содержащих природные клеи, или отреставрированных с их применением, которые при параметрах микроклимата, рекомендуемых для хранения этих предметов, не повреждаются микроорганизмами. По мере протекания процессов естественного старения пленки природных полимеров (в большей степени это относится к животным клеям) становятся несколько более устойчивыми, чем свежеприготовленные. Однако при нарушении условий хранения вещи, отреставрированные с применением природных клеев или изготовленные с их использованием, повреждаются микроскопическими грибами в первую очередь, в силу их высокой питательной ценности и гигроскопичности (для пластификации некоторых природных клеев в их состав вводят дополнительно гигроскопичные вещества). Бактериальное повреждение высохших клеевых пленок в помещениях с регулируемым микроклиматом возможно только в аварийных условиях.

Биологами-консерваторами проводились изыскания биоцидов пролонгированного действия, обеспечивающих биостойкость природных клеев как на время работы с ними, так и в составе отреставрированных произведений. В качестве таких биоцидов для мучного клея рекомендовалось применять бензойную, сорбиновую, салициловую кислоты, пентахлоренолят натрия (ПХФNa), натрий фтористый, метиловый эфир параоксибензойной кислоты (нипагин), 4, 5, 6-трихлорбензоксазолинон-2 (трилан), этиловый эфир тиосульфаниловой кислоты (эсулан); для осетрового клея – салициловую, бензойную кислоты, двуххлористую ртуть (сулему), сульфаниламид (стрептоцид),

<sup>48</sup> Ребрикова Н.Л. Биология и реставрация // Реставрация памятников истории и искусства в России в XIX–XX веках. История, проблемы: Учебное пособие. – М., 2008. С. 528–556.

парахлорметакрезол (*Рашист*, *Превентол* СМК (P)<sup>49</sup>) в виде натриевой соли, ортофенилфенол (*Оксидифенил*, *Превентол* O(P), *Довицид* A), 2,2'-диокси-5,5-дихлордифенилметан (*Дихлорофен*, *Превентол* Г-4), ПХФNa, четвертичные аммониевые соли (ЧАС): хлорид додециламиддиметилбензиламиноуксусной кислоты (*Квартолит*), алкилбензилдиэтиламмоний хлорид (*Катамин* А), алкилдиметилбензиламмоний хлорид (*Катамин* АБ), дихлорида этилен-1,2-бис-(N-диметил-карбдецил-оксиметил)-аммония (*Этоний*, бисчетвертичное аммониевое соединение), цетилпиридиний хлорид (*Цетазол*, *ЦПХ*), лаурилпиридиний бромид (*Стеринол*), параалкилбензилпиридиний хлорид (*Катапин*), комплекс *Катамина* АБ с поливинилпирролидоном (*Катапол*).

В составе мучных клеев эффективность защитного действия ЧАС была низкой. При этом ЧАС эффективно защищали осетровый клей. Биоцидное действие ЧАС зависит от pH среды, они эффективны при нейтральных и слабощелочных значениях pH, при повышении кислотности среды их активность сильно снижается. Так, например, при подкислении осетрового клея до pH 3 антимикробная активность *Катамина* АБ снижалась до нуля. Хлорированные фенолы и ЧАС оказались мало пригодны для желтковой эмульсии, так как оказывали на нее разрушающее действие, проявляющееся сразу после введения биоцидов. Для защиты желтковой эмульсии предлагалось использовать натрий фтористый, буру с борной кислотой, или сочетание буры с борной кислотой и стрептомицином, были рекомендованы полимерные биоциды – полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (*Полисепт*) или полигексаметиленгуанидин фосфат (*Фогуцид*).

Обеспечить неопределенно длительную защиту клеев достаточно сложно. Некоторые биоциды недостаточно эффективны. Высокоэффективные биоциды токсичны и оказывают значительное воздействие на физико-химические свойства защищаемых материалов. Биоциды пролонгированного действия со временем теряют активность, окисляются (при этом происходит изменение их цвета), гидролизуются (иногда также с образованием окрашенных соединений), частично испаряются, в условиях высокой влажности вымываются и т. д. Кроме того, многие предложенные биоциды оказывали негативное действие на свойства клеев и материалы памятников, с которыми клеи, содержащие биоциды, контактировали. В связи с этим набор веществ – антисептиков для природных клеев, оставшихся в практическом использовании, невелик. Это – *нипагин*, *Катамин* АБ, *Полисепт*, *Превентол*.

В неотопливаемых памятниках архитектуры используются более биостойкие, чем природные, синтетические полимерные

<sup>49</sup> *Превентол* – под этим названием известна серия биоцидных препаратов немецкой фирмы «Байер».

реставрационные материалы. В случае, когда нет альтернативы использованию материалов природного происхождения, их биостойкость повышается путем введения биоцидных добавок. В последнее время для укрепления фреско-темперной живописи многие реставраторы используют модифицированный желток, эфиры целлюлозы применяют для укрепления настенной клеевой живописи. Важны также сроки ведения работ в неотапливаемом памятнике. Время проведения работ следует выбирать с расчетом достаточно быстрого высыхания применяемых клеев. Оптимальным временем проведения работ по укреплению позолоченной резьбы, красочного слоя икон, настенной живописи в неотапливаемых памятниках архитектуры Северной и Центральной России является вторая половина июля – август. Для памятников на открытом воздухе используют элементарноорганические соединения, полимерные вяжущие с минеральными наполнителями или только минеральные вяжущие.

Синтетические полимеры существенно превосходят по биостойкости природные, но среди большого разнообразия этих материалов некоторые обладают пониженной биостойкостью. Среди полимеров, используемых в реставрации, относительно биостойки: Полибутилметакрилат, Поливинилбутираль, Паралоид Б-72 (сополимер этилметакрилата и метилметакрилата), Примал (эмульсия Паралоида и аминокформальдегидной смолы). К соединениям с пониженной биостойкостью относятся поливинилацетатная дисперсия (ПВА, Мовилит 60), поливиниловый спирт, производные целлюлозы: Ключель Е (КМЦ, карбоксиметилцеллюлоза), Ключель G (гидроксипропилцеллюлоза), Тилоза МХ300п (МЦ, метилгидроксиэтилцеллюлоза).

Многочисленные работы по исследованию биостойкости синтетических полимерных материалов в разных условиях эксплуатации показали, что, кроме полимеров, представляющих собой модифицированные природные материалы (эфиры целлюлозы и другие), не биостойки и некоторые виниловые полимеры, и их производные. Учитывая имеющиеся данные о пониженной биостойкости водных дисперсий ПВА, было проведено исследование сополимера винилацетата с 2-этилгексилакрилатом (ВА-2ЭГА) и сополимера винилацетата с этиленом (СВЭД), используемых в реставрационной практике (табл. 4). Проведенное исследование показало, что сополимеры на основе винилацетата могут не только повреждаться метаболитами грибов в присутствии других доступных органических веществ, но и ассимилироваться ими. Биомасса, образованная тест-культурами грибов, зависела от концентрации полимеров в среде, возрастая при изменении ее от 0,1 до 1,0%. Питательная ценность исследованных материалов была значительно меньше питательной ценности желтка куриного яйца, использованного в качестве контроля (для ВА-2ЭГА – в 4–5 раз, для СВЭД – в 10 раз). Испытания образцов штукатурок

с красочным слоем, укрепленных ВА-2ЭГА и СВЭД, инфицированных спорами грибов и помещенных в условия влажной камеры, подтвердили полученные результаты. На образцах, укрепленных ВА-2ЭГА, развитие грибов соответствовало категории материалов с пониженной биостойкостью<sup>50</sup>.

Таблица 4. Рост грибов на средах, содержащих реставрационные материалы в качестве единственного источника углерода

Реставрационные материалы	Биомасса, мг сухого веса на 20 г среды	
	Engyodontium album 2B (syn. Tritirachium album, Beauveria sp., Sporotrichum sp.)	Ulocladium sp. 4C
Желток куриного яйца		
1,0%	138 ± 5,0	61,5 ± 1,2
0,5%	127 ± 2,0	31,1 ± 2,0
0,1%	18 ± 0,8	8,7 ± 0,3
ВА-2ЭГА		
1,0%	27,4 ± 1,9	19,1 ± 3,8
0,5%	26,4 ± 2,1	5,8 ± 1,2
0,1%	12,3 ± 1,8	5,2 ± 1,3
СВЭД		
1,0%	11,8 ± 0,7	5,4 ± 1,3
0,5%	16,5 ± 0,5	5,4 ± 1,8
0,1%	8,8 ± 0,4	2,8 ± 0,7

Наблюдения после окончания реставрационных работ в ряде неотапливаемых памятников показали, что в некоторых случаях на участках стенописи, укрепленных с применением ВА-2ЭГА, наблюдается развитие колоний грибов. В связи с этим использование в памятниках с нерегулируемым микроклиматом материалов на основе ПВА не исключает необходимости применения экологических и химических способов их защиты от биоповреждений. В Польше для защиты были рекомендованы стеринол (ЧАС) и трибутилолово оксид (ТБТО)<sup>51</sup>. Однако, проведенные нами исследования показали, что использовать препараты ЧАС для этих целей нежелательно, так как в силу

<sup>50</sup> Rebrikova N.L. Micromycetes taking part in deterioration of Old-Russian wall-paintings, chapter V // Resent Advances in Biodeterioration and Biodegradation / K.L. Garg, N. Garg, K.G. Mukerji, eds. – Calcutta, 1993. Vol. 1. P. 205–232.

<sup>51</sup> Koneczny P., Strzelczyk A. Zabezpieczenie polioctanu winylu przed atakien drobnoustrojow // Acta Universitatis Nicolai Copernici. Ser. Zabytkoznawstwo i konserwatorstwo. – Torun, 1983. T. 10. S. 67–80.

катионной активности они оказывают дестабилизирующее действие на дисперсии ВА-2ЭГА и СВЭД.

В лаборатории биологических исследований ГОСНИИР были также проведены испытания на устойчивость к воздействию плесневых грибов семи акриловых дисперсий, рекомендованных для использования в реставрационной практике. Большинство акриловых дисперсий были фунгистойки (высоко устойчивые – АК-202, АК-234, АК-243). А также выявлены две дисперсии с пониженной биостойкостью – АБВ-16 и АК-211. Пониженная биостойкость АБВ-16 связана с большим содержанием в его составе (49%) небистойкого винилацетата. Состав АК-211 от высоко устойчивого АК-202 отличается только содержанием метакриловой кислоты.

Памятники на открытом воздухе, настенная живопись и камень в зданиях с нерегулируемым микроклиматом повреждаются вследствие развития бактерий с разными типами метаболизма, образования биопленок, состоящих из гетеротрофных бактерий, в том числе актиномицетов, микроскопических грибов и водорослей, с теми или иными выраженными доминирующими формами. На скульптурах, фасадах архитектурных памятников, на петроглифических памятниках, помимо биопленок, развиваются разнообразные лишайники, в швах, трещинах и углублениях – мхи. Лабораторные исследования биостойкости материалов, применяемых для реставрации памятников на открытом воздухе, или для настенной живописи и камня в памятниках с нерегулируемым микроклиматом, лучше проводить в условиях, благоприятных для роста наибольшего числа биодеструкторов. Результаты лабораторных исследований необходимо дополнять данными натурных испытаний, которые соответствуют условиям эксплуатации материала.

Кроме того, результаты биостойкости материалов, полученные на свежеприготовленных образцах, полезно сравнивать с результатами, полученными на образцах, подвергшихся испытанию на устойчивость к различным факторам окружающей среды, ускоренному старению, особенно на устойчивость к вымыванию.

Защита клеев природного происхождения, используемых в практике реставрации, имеет давние традиции. Клеи повреждаются в процессе хранения или при затрудненном высыхании. С 1960-х годов для придания биостойкости глютиновым клеям и для антимикробной обработки живописных произведений использовался токсичный и оказывающий негативное воздействие на некоторые живописные материалы пентахлорфенолят натрия. ЧАС пришли на его смену. В некоторых случаях, работая с музейными предметами, реставраторы не используют для защиты клея биоциды, приготавливая небольшие объемы клея, или хранят клей в холодильнике. Но если клеи природного происхождения применяются для противоаварийной

консервации икон и резьбы в неотопливаемых, плохо проветриваемых памятниках, то они должны быть защищены с помощью биоцидных добавок.

В реставрационной практике для укрепления красочного слоя и грунта икон применяются клеи природного происхождения: кроличий, мездровый, осетровый или рыбий. Если предполагается удаление потемневшей олифы, записей, то альтернативы им нет. Фирмы, производящие гранулированные клеи из соединительной ткани животных, не указывают, входят ли в их состав антисептические добавки или нет, а если входят, то какие. Было проведено исследование биостойкости кроличьего клея, мездрового клея, двух видов осетрового клея и ПВС марки 16/1 для реставрации живописи, а также грунта на основе кроличьего клея, мездрового клея и ПВС. Иногда для укрепления красочного слоя используется желтковая эмульсия. В связи с этим было проведено испытание биостойкости желтковой эмульсии и красочного слоя желтковой темперы с добавками биоцидов. Вместе с известными в реставрационной практике биоцидами была изучена возможность защиты глютиновых клеев и желтковой эмульсии биоцидами на основе НЧ серебра.

Выраженное антимикробное действие ионы серебра проявляют в очень небольших концентрациях. Однако применение азотнокислого серебра в реставрационной практике практически неизвестно, вследствие его чувствительности к действию света. Антимикробная активность НЧ серебра намного превосходит антимикробную активность азотнокислого серебра. В рукописных книгах и документах можно видеть зоны задержки роста микроорганизмов вокруг инициалов, точек, элементов орнамента, в состав которых входит серебро, причем зоны задержки роста не окрашены, поэтому представлялось перспективным проверить возможность использования НЧ серебра для защиты реставрационных материалов.

Исследование антигрибной активности действия НЧ серебра в отношении четырех видов мицелиальных грибов (из коллекции ГОСНИИР) – *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus*, *Ulocladium ilicis*, *Aspergillus niger* – показало, что она превосходит активность ионов серебра, что подтвердило результаты, полученные с дрожжами и бактериальными культурами. Эти результаты поддержали предположение о разном механизме действия НЧ серебра и ионов серебра в растворе. Среди исследованных дисперсий НЧ серебра наиболее сильное подавляющее действие на рост тест-культур грибов оказывали препараты, полученные путем биохимического синтеза.

Препараты НЧ серебра даже в низких концентрациях, недостаточных для ингибирования роста грибов, окрашивали в желтый цвет клеи, клее-меловой грунт и усиливали цвет желтковой эмульсии. Осетровый клей с НЧ серебра, стабилизированными поливинилпирролидоном,

темнел на свету. Несмотря на высокую антигрибную активность, препараты НЧ серебра меняют цвет реставрационных материалов, что является препятствием для их использования в целях придания им биостойкости. Но это свойство НЧ серебра не является препятствием для их использования в практике реставрации для решения других задач. Фирма «Реммерс», производящая большое количество материалов для реставрации памятников, выпустила краску *Remmers Bioni Nature* с наночастицами серебра, имеющую желтый цвет. Ее предлагается использовать в помещениях с высоким риском развития плесневых грибов, например, в подвальных помещениях, в которых цвет ограждающих конструкций не имеет значения.

Определение биостойкости клеев, используемых для укрепления красочного слоя икон, для устранения отставаний грунта золоченой резьбы, показало, что наиболее биостойким является ПВС. Осетровый и мездровый клеи, как и следовало ожидать, оказались небистойкими. Кроличий клей фирмы «Феррарио АПА» по окончании срока испытания оказался небистойким, но осваивался грибами медленнее, чем другие клеи природного происхождения. С кроличьим клеем было проведено дополнительное исследование. Оно показало, что гранулированный клей содержит биоцид, который обеспечивает приготовленному клею защиту при хранении в закрытых емкостях. Клей, приготовленный из гранул с темными включениями, находясь в закрытом бьюксе в комнатных условиях, оставался неповрежденным в течение 22 дней, но через 28 дней на поверхности клея появились отдельные колонии. А затем клей был полностью разрушен микроорганизмами.

Исследуемые клеи наносили на деревянные образцы из липы и помещали в условия влажной камеры. Через 11 дней испытаний рост грибов на кроличьем клее отсутствовал, в отличие от мездрового и осетрового клеев. Спустя 17 дней их развитие началось и на кроличьем клее. Очевидно, что торможение роста связано с биоцидной добавкой, но вследствие летучести она не защищает клей и грунт на его основе на весь срок испытания в условиях влажной камеры. Таким образом, использовать кроличий клей в условиях неотопливаемого памятника можно только с дополнительной защитой.

*Катамин* АБ в концентрации 0,5% от объема клея обеспечивал биостойкость осетрового и кроличьего клеев в течение всего срока испытаний, предусмотренных ГОСТом. Кроличий клей с добавкой *Катамина* АБ начал повреждаться грибами через 4,5 месяца пребывания во влажной камере. Также после длительного срока пребывания начал повреждаться осетровый клей, нанесенный на деревянную подложку. *Полисефт* в концентрации 0,5% и 1,0% от объема кроличьего клея не обеспечивал защиту материала, предусмотренную ГОСТом, через 14 дней пленки клея были сильно повреждены микроорганизмами.



Ил. 57. Образцы клее-мелового грунта на деревянной основе после 40 суток в условиях влажной камеры. Образцы до начала испытаний были обработаны растворами биоцидов, затем инокулированы суспензией конидий грибов, которая наносилась в виде капель на поверхность грунта (метод Вострова), и помещены во влажную камеру. На участках, обработанных *Катамином* АБ и *Полисефтом*, развития грибов не началось, можно видеть только следы в местах нанесения капель суспензии

Биостойкость грунтов выше, чем глиятиновых клеев, на основе которых приготавливают клее-меловые грунты. Грунт на основе ПВС устойчив на уровне устойчивости ПВС. Биостойкость грунтов на основе глиятиновых клеев повышается за счет наполнителя мела, но особенно, когда в качестве наполнителя используются цинковые белила в грунтах для холстов.

Также было исследовано защитное действие биоцидов при нанесении их на поверхность клее-мелового грунта. Показано, что грунт, обработанный 3% или 5% растворами *Катамина* АБ, полностью ингибировал развитие микроскопических грибов в течение 64 дней и частично – в течение 145 дней. Грунт, обработанный 5% водным раствором *Полисефта*, полностью ингибировал рост грибов в течение 40 дней и частично – в течение 145 дней. На грунте, обработанном НЧ серебра,

рост грибов начался на 10 день испытаний (ил. 57). Обработка грунта НЧ серебра привела к его пожелтению.

Ни один из испытанных биоцидов не защищал удовлетворительно желтковую эмульсию и краски, когда желтковая эмульсия использовалась в качестве связующего. Катамин АБ в концентрации 0,5% от объема оказался недостаточно эффективен для защиты желтковой эмульсии и красочного слоя темперной живописи. Известно, что для защиты желтковой эмульсии предлагали использовать натрий фтористый. Позднее для защиты желтковой эмульсии был предложен стрептомицин<sup>52</sup>.

Рассмотрены ситуации, требующие долговременной защиты небюстойких реставрационных материалов. Приведены результаты сравнительных испытаний биостойкости природных и синтетических материалов. Раздел биостойкость дополнен новыми результатами по биостойкости глитиновых клеев зарубежного производства, примерами кратковременной и долговременной защиты.

## 7. Способы антимикробной обработки памятников, используемые в музейной практике в настоящее время

В последнее время изменились взгляды на применение химических биоцидов для антимикробной обработки памятников. Доминирующими подходами стали превентивная консервация и «зеленые» технологии. Произошло это вследствие нескольких причин. Одна из причин следующая – эффективные антимикробные средства оказывают негативное воздействие не только на микроорганизмы, но и на материалы памятника. Другая причина – это введение без достаточной жесткой необходимости веществ, несвойственных памятнику. Третья причина – это токсичность биоцидных соединений для людей и окружающей среды.

На конференции кураторов музейных коллекций «Плесень в музее. Повторяющаяся проблема», организованной английским Институтом консервации в апреле 2023 года, в качестве средства для удаления колоний плесневых грибов в подавляющем большинстве докладов сообщалось об использовании 70° этилового спирта, в случае некоторых акварелей – 96° этилового спирта. В Музее современного искусства в Барселоне для подавления роста плесени на экспонате была применена технология *Anoxia*. Следует отметить, что низкая концентрация кислорода, менее 0,1%, тормозит рост плесневых грибов, но споры остаются жизнеспособными. Конечно, во всех докладах уделялось внимание способам изменения условий, спровоцировавших рост плесневых грибов. Это – использование осушителей, обогревателей, вентиляторов, мониторинг микроклиматических параметров.

Помимо этилового спирта, итальянскими консерваторами предлагается использование «зеленых» биоцидов, особенно часто в этой роли выступают эфирные масла<sup>53</sup>. В виде паров или растворов они имеют большой потенциал использования в качестве биоцидов<sup>54</sup>. Но некоторые свойства масел могут ограничивать их применение для антимикробной обработки памятников. Природное «натуральное» соединение не обязательно означает нетоксичное и безвредное. В прошлом пары тимола широко использовались в так называемых тимоловых камерах. Стало очевидным, что пары тимола размягчают лаки и смолы. Пергамент после обработки парами тимола становится хрупким. Пары оказывают

<sup>52</sup> Ребрикова Н.Л. Биология и реставрация // Реставрация памятников истории и искусства в России в XIX–XX веках. История, проблемы: Учебное пособие. – М., 2008. С. 528–556.

<sup>53</sup> Koneczny P., Strzelczyk A. Zabezpieczenie poliocianu winylu przed atakami drobnoustrojow // Acta Universitatis Nicolai Copernici. Ser. Zabytkoznawstwo i konserwatorstwo. – Torun, 1983. T. 10. S. 67–80.

<sup>54</sup> Essential Oils as Natural Biocides in Conservation of Cultural Heritage / F. Palla, M. Bruno, F. Mercurio, A. Tantillo, V. Rotolo // Molecules. February 2020. Vol. 25 (3). P. 730. Published online 2020 Feb 7. DOI: 10.3390/molecules25030730

негативное воздействие на связующее акварели, на железо-галловые чернила и небезопасен для человека<sup>55</sup>. Способность эфирных масел размягчать и растворять лаки используется в практике реставрации для удаления старых лаковых покрытий.

В Италии в 2021 году была проведена фунгицидная обработка картины «Тишина» Якоппо Дзукки, написанной в середине XVI века и находящейся в Галерее Уффици, эмульсией, состоящей из смеси эфирного масла горького апельсина и гидролата коры коричневого дерева. Исследование воздействия эфирного масла и гидролата на физико-химические характеристики холста, грунта, красочного слоя образцов, приготовленных по старым технологиям, до и после старения не выявили изменений цвета и pH. Обработка картины путем разбрызгивания эмульсии со стороны холста также не вызвала изменений в состоянии сохранности произведения<sup>56</sup>.

Отсутствие воздействия на физико-химические характеристики в работе итальянских исследователей объясняется двумя причинами. На приготовленных образцах не было лака, а это основной материал, на который, будучи растворителями, оказывают воздействия эфирные масла. Вторая причина – для обработки картины была использована смесь эфирного масла и гидролата. Гидролаты не обладают свойствами органических растворителей.

Считается, что биоцидная обработка необходима, потому что биоцид убивает жизнеспособные споры и мицелий плесневых грибов, останавливая повреждение памятника, обеспечивает безопасность работы реставратора. Во многих случаях заявленная цель может быть достигнута без специальной биоцидной обработки. Повреждение памятника можно остановить, высушив его. После высушивания колонии грибов могут быть удалены с помощью специальных музейных пылесосов. В случае масштабного повреждения водой (большое количество предметов) используется низкая температура (*freeze-drying*). Безопасность реставратора можно обеспечить с помощью локальных вытяжных устройств.

Накопление знаний о негативных последствиях химических и физических способов антимикробной обработки музейных предметов привело к отказу от их применения во многих странах. Однако скопления жизнеспособных и нежизнеспособных спор и мицелия грибов

<sup>55</sup> Ellis M.H. The Care of Prints and Drawings. – Walnut Creek; Lanham; New York; Oxford, 1995. P. 253; Isbell L.H. The Effects of Thymol on Paper, Pigments, and Media // *Abbey Newsletter*. 1997. Vol. 21. № 3. P. 39–43.

<sup>56</sup> Il Silenzio: The First Renaissance Oil Painting on Canvas from the Uffizi Museum Restored with a Safe, Green Antimicrobial Emulsion Based on Citrus aurantium var. amara Hydrolate and Cinnamomum zeylanicum Essential Oil / D. Minotti, L. Vergari, M.R. Proto, L. Barbanti, S. Garzoli, F. Bugli, M. Sanguinetti, L. Sabatini, A. Peduzzi, R. Rosato, M. Bellardi, P. Mattarelli, D. de Luca, M. di Vito // *Journal of Fungi*. 2022. Vol. 8: 140. DOI: 10.3390/jof8020140

обладают аллергическим действием и представляют угрозу для людей, контактирующих с поврежденными грибами предметами, или находящимися в помещении, где хранятся такие предметы. Налеты грибов необходимо удалять с музейных предметов.

Подсохшие налеты грибов в книгах, на архивных документах удаляются с помощью небольших пылесосов для очистки старых и хрупких предметов, которые рекомендованы к использованию в области консервации. Очистку можно также проводить с помощью нетканых салфеток, чтобы не загрязнять предметы волокнами, остающимися при использовании обычных салфеток. Безопасность реставратора обеспечивается проведением очистки в вытяжном шкафу, или с помощью локальных вытяжных устройств. С живописи налеты грибов удаляют с помощью тампонов, смоченных в 70° этиловом спирте и туго отжатых, либо в растворителе, рекомендованном для удаления поверхностных загрязнений с данного вида лакового покрытия. Такие растворители, как этиловый спирт и пинен, обладают антисептическим действием.

В музеях иногда приходится иметь дело с мокрыми материалами. Это могут быть музейные предметы, пострадавшие вследствие аварий, материалы археологических раскопок и собранные этнографическими экспедициями. Если быстрое высушивание невозможно по причине масштаба аварии, или вследствие возможной деформации, даже полного разрушения предмета, то для контроля роста грибов на влажных предметах можно использовать либо замораживание, либо хранение в бескислородной среде.

Ингибирование метаболической активности грибов начинается, когда содержание кислорода в воздухе снижается до 1%, и усиливается при дальнейшем снижении. Для полного торможения роста необходимо, чтобы оно не превышало 0,1%. Лимит кислорода используется в некоторых случаях для защиты от повреждения грибами мокрых археологических и этнографических материалов на период их временного хранения до начала консервационных работ. Для снижения концентрации кислорода используется технология *Veloxy*, или поглотители кислорода, количество которых рассчитывается, исходя из объема герметичной упаковки.

Снижение температуры замедляет жизненные процессы, которые протекают в живых организмах. Вследствие этого угнетается их активность и рост. Большинство видов микроскопических грибов не могут развиваться при температуре ниже 5°C, за исключением некоторых психрофильных видов, относящихся к родам *Cladosporium*, *Fusarium*, *Phialophora*, и некоторых других. Минимальные температуры, при которых возможен метаболизм этих видов – –5–7°C. Однако активность обменных процессов даже у психрофилов при экстремальных температурах ограничена. Низкие температуры могут вызывать гибель вегетативных клеток микроорганизмов, но споры длительно сохраняют

жизнеспособность и не уничтожаются в результате воздействия низких температур. Торможение прорастания спор и метаболизма микроскопических грибов холодом нашло применение как способ предупреждения биоповреждений музейных и библиотечных коллекций, пострадавших в результате аварий и стихийных бедствий.

Для сушки намокших музейных коллекций и документов используют сушку вакуумом через замораживание, которая, в отличие от тепловых обработок, обеспечивает минимальное повреждение обрабатываемых материалов. Сушка вакуумом через замораживание является формой сублимации – превращения твердого тела в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. Эта технология не является новой, но применяется сравнительно недавно. В некоторых организациях есть реставрационные вакуумные камеры для сублимационной сушки. Время сушки зависит от степени обводненности пострадавших предметов. Необходим контроль влагосодержания, чтобы избежать пересушивания.

Главным преимуществом сушки вымораживанием является то, что вода сублимируется из льда в пар. При этом набухание материалов и повреждение их водой минимальны, не происходит их цементация, уменьшается усадка кожи и других материалов. Сушку вымораживанием можно проводить в обычных морозильных камерах, но процесс длительный, требуется много времени. Из исследований свойств материалов известно, что при низких температурах поливинилхлоридные соединения и поперечно-сшитые эпоксидные смолы становятся хрупкими и ломкими.

## Заключение

В пособие включены новые данные, особенно касающиеся роста грибов экстремальных ксерофилов, механизм устойчивости которых отличается от механизма устойчивости галофильных бактерий и архей. Они появились на основании накопленного опыта микологических обследований музейных фондов и экспериментальных исследований за последнее время. На основании результатов долговременных натуральных экспериментов получены новые доказательства отсутствия связи между фоксингами и грибами-ксерофилами.

Показана необходимость сочетания разных методов исследования микробиома памятника. Сопоставление результатов, полученных разными способами анализа, дает возможность правильной интерпретации полученных результатов. С помощью метагеномного анализа микробиома исследовано все разнообразие микроорганизмов на выдающихся памятниках искусства. «Омиксные методы» революционизировали исследования в области биоповреждений памятников культуры. Рассмотрены примеры применения молекулярно-генетических методов исследования, биолюминесцентного метода определения количества АТФ в пробе и традиционных – микроскопного и культурального методов исследования произведений искусства, поврежденных или предположительно поврежденных микроскопическими грибами.

В запасниках музеев при допустимых значениях температуры и ОВ воздуха, регистрируемых музейными приборами в местах их расположения, возможен рост ксерофильных грибов. В фондах, в которых обнаружены ксерофильные грибы, с помощью логгеров выявлены температурные и влажностные неоднородности – влажностные карманы, в которых создаются условия для роста экстремальных ксерофилов.

Температурные неоднородности возникают около полов, наружных стен, а также стен, контактирующих с грунтом. Постоянству микроклиматических параметров во влажностных карманах способствует низкая подвижность воздуха. Поддержание ОВ воздуха вблизи верхней допустимой границы повышает риск возникновения микрозон, в которых создаются условия для роста экстремальных ксерофилов. Для их ликвидации необходимо устранение барьеров на пути движения воздушных потоков, усиление циркуляции воздуха.

Необходимо понизить верхнюю допустимую границу ОВ воздуха для хранения музейных предметов до 60%. Сочетание максимально допустимой температуры и влажности не должно быть продолжительным. Следует избегать резких колебаний температуры. Колебания микроклиматических параметров должны быть минимальны. Если произошел скачок температуры, необходимо усилить циркуляцию воздуха.

Предметы необходимо располагать так, чтобы обеспечить циркуляцию воздуха. Для вентиляции компакт-стеллажей лучше удалить боковые панели, или ежедневно их двигать. Необходимо следить за системой вентиляции, проверять эффективность ее работы, регулярно очищать решетки и своевременно менять фильтры. Проводить мониторинг коллекций и быстро ликвидировать локальные микроклиматические нарушения.

Раздел «Биостойкость реставрационных материалов» дополнен новыми результатами по биостойкости глинистых клеев зарубежного производства, примерами кратковременной и долговременной защиты. Доминирующими подходами в случае необходимости антимикробной обработки стали «зеленые» технологии. Рассмотрены современные способы антимикробной обработки, используемые в музейной практике.

## Список использованных источников

1. Белозерская Т.А. Гидрофобины грибов: структура и функции // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35. № 1. С. 3–11.
2. Воронина Л.И., Аракчеева Д.З. Защита художественных грунтованных холстов от плесневения // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ВЦНИЛКР. – М., 1977. № 3 (33). С. 32–40.
3. Воронина Л.И., Назарова О.Н. Грибостойкость художественных красок и новый способ их защиты от микробиологических повреждений // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ВНИИР. – М., 1980. № 6 (36). С. 131–144.
4. Иконописный подлинник Никодима Сийского. Последняя четверть XVII в. // Свод письменных источников по технике древнерусской живописи, книжного дела и художественного ремесла в списках XV–XIX вв. / Сост. Ю. И. Гренберг. В 2-х т. – СПб., 1995. Т. 1. Кн. 1. С. 207–224.
5. Колесников Б.А., Ларионов И.В., Шамцян М.М. Получение поверхностно-активных белков из глубинной культуры гриба *Trichoderma viride* // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета). – СПб., 2014. № 5. С. 48–51.
6. Музейное хранение художественных ценностей: Практическое пособие / ГосНИИР. – М., 1995.
7. Платов А.В. Повышение криорезистентности пекарских дрожжей на основе температурной и осмотической адаптации: Автореферат дис. ... кандидата технических наук. – М., 1997.
8. Подходы к снижению потенциальных рисков биологического поражения: произведения темперной живописи XV–XVI веков из Государственной Третьяковской галереи / А.А. Жгун, Д.А. Авданина, М.П. Потапов, М.Г. Степанов, Е.В. Троян, М.В. Шитов, Г.К. Нураева, Н.П. Симоненко, Л.А. Александрова, В.А. Макаров, К.В. Шумихин, А.Р. Хомотов, Е.А. Любавская, И.А. Волков, В.В. Иванов // Научно-практическая конференция имени А.П. Ковалева. 2019: Государственная Третьяковская галерея: Реставрация, консервация, исследования. – М., 2021. С. 133–145.
9. Ребрикова Н.Л. Биология в реставрации. – М., 1999.
10. Ребрикова Н.Л. Биология и реставрация // Реставрация памятников истории и искусства в России в XIX–XX веках. История, проблемы: Учебное пособие. – М., 2008. С. 528–556.
11. Ребрикова Н.Л. Механизмы устойчивости грибов-ксерофилов к пониженному водному потенциалу // Микология сегодня. – М., 2016. Т. 3. С. 31–42.
12. Ребрикова Н.Л. Руководство по диагностике микробиологических повреждений памятников искусства и культуры. – М., 2008.
13. Ребрикова Н.Л. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музеях и библиотеках. Могут ли ксерофилы быть причиной образования фоксингов? // Реставрация документа: консерватизм и инновации – 2022: Сборник материалов VI Международного научно-практического семинара / Российская государственная библиотека. – М., 2022. С. 135–145.
14. Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В. Современные представления о происхождении фоксингов и перспективы профилактики их появления // Консервация и реставрация музейных ценностей. Объекты на бумаге и пергаменте: Материалы I научно-практической конференции (Москва, 21–23 ноября 2000 г.): Труды Государственного исторического музея. – М., 2002. Вып. 129. С. 27–31.
15. Ребрикова Н.Л., Мантуровская Н.В., Дмитриева М.Б. Исследование проблемы этиологии образования фоксингов // Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация / ГОСНИИР. – М., 1999. № 17. С. 103–107.
16. Ребрикова Н.Л., Понизовская В.Б. Экстремально ксерофильные грибы, обнаруженные в музейных фондах // Современная микология в России: Материалы III Международного микологического форума (Москва, 14–15 апреля 2015 г.). – М., 2015. Т. 4. С. 298–300.

17. Томсон Г. Музейный климат. – СПб., 2005.
18. Amid the Possible Causes of a Very Famous Foxing: Molecular and Microscopic Insight into Leonardo da Vinci's Self-Portrait / G. Piñar, H. Tafer, K. Sterflinger, F. Pinzari // Environmental Microbiology Reports. June 2015. Vol. 7. Iss. 6. P. 849–859. DOI: 10.1111/1758-2229.12313
19. Analysis of paper foxing by newly available omics techniques / J. Szulc, A. Otlewska, T. Ruman, K. Kubiak, J. Karbowska-Berent, T. Kozieliec, B. Gutarowska // International Biodeterioration and Biodegradation. 2018. Vol. 132. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.03.005
20. Arai H. Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study // International Biodeterioration and Biodegradation. 2000. Vol. 46. P. 181–188.
21. Arai H. Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties. Part 1: Isolation of fungi from the foxing on paper // Science for Conservation. 1984. № 23. P. 33–39.
22. Arai H. On the foxing-causing fungi // Preprints of the 8th Triennial ICOM Meeting. ICOM CC. – Sydney, 1987. P. 1165–1167.
23. Brimblecombe P. Understanding the composition of museum air // Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung. 2008. Bd. 22. P. 235–239.
24. Combining an Innovative Non-Invasive Sampling Method and High-Throughput Sequencing to Characterize Fungal Communities on a Canvas Painting / H. Paiva de Carvalho, S.O. Sequeira, D. Pinho, J. Trovão, R.M.F. da Costa, C. Egas, M.F. Macedo, A. Portugal // International Biodeterioration and Biodegradation. 2019. Vol. 145. Iss. 3. P. 1–9.
25. Dixon T. Storage of Easel Paintings // Conservation of Easel Paintings. – Abingdon, Oxon; New York, 2012. P. 672–677.
26. Ellis M.H. The Care of Prints and Drawings. – Walnut Creek; Lanham; New York; Oxford, 1995. P. 253.
27. Erhardt D., Tumosa Ch.S., Mecklenburg M.F. Applying science to the question of museum climate // Museum Microclimates: Contributions to the Conference (Copenhagen, 19–23 November 2007) / National Museum of Denmark. – Copenhagen, 2007. P. 11–18.
28. Essential Oils as Natural Biocides in Conservation of Cultural Heritage / F. Palla, M. Bruno, F. Mercurio, A. Tantillo, V. Rotolo // Molecules. February 2020. Vol. 25 (3). P. 730. Published online 2020 Feb 7. DOI: 10.3390/molecules25030730
29. Essential Oils of Plants as Biocides against Microorganisms Isolated from Cuban and Argentine Documentary Heritage / S. Borrego, O. Valdés, I. Vivar et al. // ISRN Microbiology. 2012: 826786.
30. Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves / M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti // International Biodeterioration and Biodegradation. 2012. Vol. 75. P. 83–88. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.03.011
31. Galinski E. Osmoadaptation in bacteria // Advances in Microbial Physiology. 1995. Vol. 37. P. 273–328.
32. Hocking A.D. Effects of water activity and culture age on the glycerol accumulation patterns of five fungi // Journal of General Microbiology. 1986. Vol. 132. Iss. 2. P. 269–275.
33. Il Silenzio: The First Renaissance Oil Painting on Canvas from the Uffizi Museum Restored with a Safe, Green Antimicrobial Emulsion Based on Citrus aurantium var. amara Hydrolate and Cinnamomum zeylanicum Essential Oil / D. Minotti, L. Vergari, M.R. Proto, L. Barbanti, S. Garzoli, F. Bugli, M. Sanguinetti, L. Sabatini, A. Peduzzi, R. Rosato, M. Bellardi, P. Mattarelli, D. de Luca, M. di Vito // Journal of Fungi. 2022. Vol. 8: 140. DOI: 10.3390/jof8020140
34. Isbell L.H. The Effects of Thymol on Paper, Pigments, and Media // Abbey Newsletter. 1997. Vol. 21. № 3. P. 39–43.
35. Is there a common water-activity limit for the three domains of life? / A. Stevenson, J.A. Cray, J.P. Williams, R. Santos // ISME Journal. 2015. Vol. 9. P. 1333–1351. DOI: 10.1038/ismej.2014.219
36. Karbowska-Berent J., Jarmilko J., Czuczko J. Fungi in Fox Spots of a Drawing by Leon Wyczółkowski // Restaurator. 2013. № 35 (2). P. 159–179.
37. Koneczny P., Strzelczyk A. Zabezpieczenie polioctanu winylu przed atakami drobnoustrojow // Acta Universitatis Nicolai Copernici. Ser. Zabytkoznawstwo i konserwatorstwo. – Torun, 1983. T. 10. S. 67–80.

38. Mecklenburg M.F. Micro Climates and Moisture Induced Damage to Paintings // Museum Microclimates: Contributions to the Conference (Copenhagen, 19–23 November 2007) / National Museum of Denmark. – Copenhagen, 2007. P. 19–25.
39. Meynall G.G., Newsam R.J. Foxing, a fungal infection of paper // Nature. 3 August 1978. Vol. 274. P. 467–468.
40. Plemenitaš A., Lenassi M., Konte T. Genomics of halophilic and halotolerant fungi // Preprints of the 10th International Congress on Extremophiles (Saint Petersburg, 7–11 September 2014). – SPb., 2014. P. 73.
41. Rebrikova N.L. Micromycetes taking part in deterioration of Old-Russian wall-paintings. Chapter V // Resent Advances in Biodeterioration and Biodegradation. – Calcutta, 1993. Vol. 1. P. 205–232.
42. Rebrikova N.L., Manturovskaya N.V. Foxing – A New Approach to an Old Problem // Restaurator. 2000. Vol. 21. № 2. P. 85–100.
43. Samson R.A., B. van der Lustgraaf. Aspergillus penicilloides and Eurotium halophilicum in association with house-dust mites // Mycopathologia. 1978. Vol. 64. P. 13–16.
44. Sleator R., Hill C. Bacterial osmoadaptation: the role of osmolytes in bacterial stress and virulence // FEMS Microbiology Reviews. 2001. Vol. 26. P. 49–71.
45. The Microbiome of Leonardo da Vinci's Drawings: A Bio-Archive of Their History / G. Piñar, M.C. Sclocchi, F. Pinzari, P. Colaizzi, A. Graf, M.L. Sebastiani, K. Sterflinger // Frontiers in Microbiology. 20 November 2020. Vol. 11: 20201. DOI: 10.3389/fmicb.2020.593401
46. When the Dust Settles: Dust Monitoring in Exhibitions at the Victoria and Albert Museum / B. Shah, S. Hunter, S. Adams, et al. // International Preservation News. May 2011. № 53. P. 24–29.
47. Williams J.P., Hallsworth J.E. Limits of life in hostile environments: no barriers to biosphere function? // Environment microbiology. 2009. Vol. 11 (12). P. 3292–3308.
48. Xie Y., Chen Y. Foxing on the backs of Chinese paintings // Scientific Research on the Pictorial Arts of Asia / The Smithsonian Institution. – Washington, 2005. P. 92–98.

## Список сокращений

АТФ – аденозинтрифосфат

ВНИИР – Всесоюзный научно-исследовательский институт реставрации, Москва

ВЦНИЛКР – Всесоюзная центральная научно-исследовательская лаборатория по консервации и реставрации музейных художественных ценностей, Москва

ГИМ – Государственный исторический музей, Москва

ГОСНИИР – Государственный научно-исследовательский институт реставрации, Москва

ГТГ – Государственная Третьяковская галерея, Москва

КОЕ – колониеобразующие единицы

МНРХУ – Межобластное научное реставрационно-художественное управление, Москва

Музей-заповедник «Архангельское» – ФГБУК «Государственный музей-заповедник «Архангельское», Московская область

Усадьба Кусково – ГБУК г. Москвы «Государственный дворцово-парковый музей-заповедник «Останкино и Кусково»

Усадьба Останкино – ГБУК г. Москвы «Государственный дворцово-парковый музей-заповедник «Останкино и Кусково»

ОВ – относительная влажность

ОВК – отопление, вентиляция, кондиционирование [воздуха]

РГБ – Российская государственная библиотека, Москва

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ЭПР – электронная парамагнитная резонансная [спектроскопия]

Н. Л. Ребрикова

# **ЗАЩИТА ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ МИКРООРГАНИЗМАМИ**

Учебное пособие

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИНДРИК»

Оригинал-макет А.С. Старчеус

По вопросу  
приобретения книг  
издательства «Индрик»  
обращайтесь по тел.:  
**+7 977 905-58-01**  
**market@indrik.ru**  
**www.indrik.ru**

INDRIK Publishers has the exceptional right to sell this book outside Russia and CIS countries. This book as well as other INDRIK publications may be ordered by  
**www.indrik.ru**

Формат 70×100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.  
6,0 п. л. Тираж 100 экз.

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»  
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42,  
корп. 5, эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н