

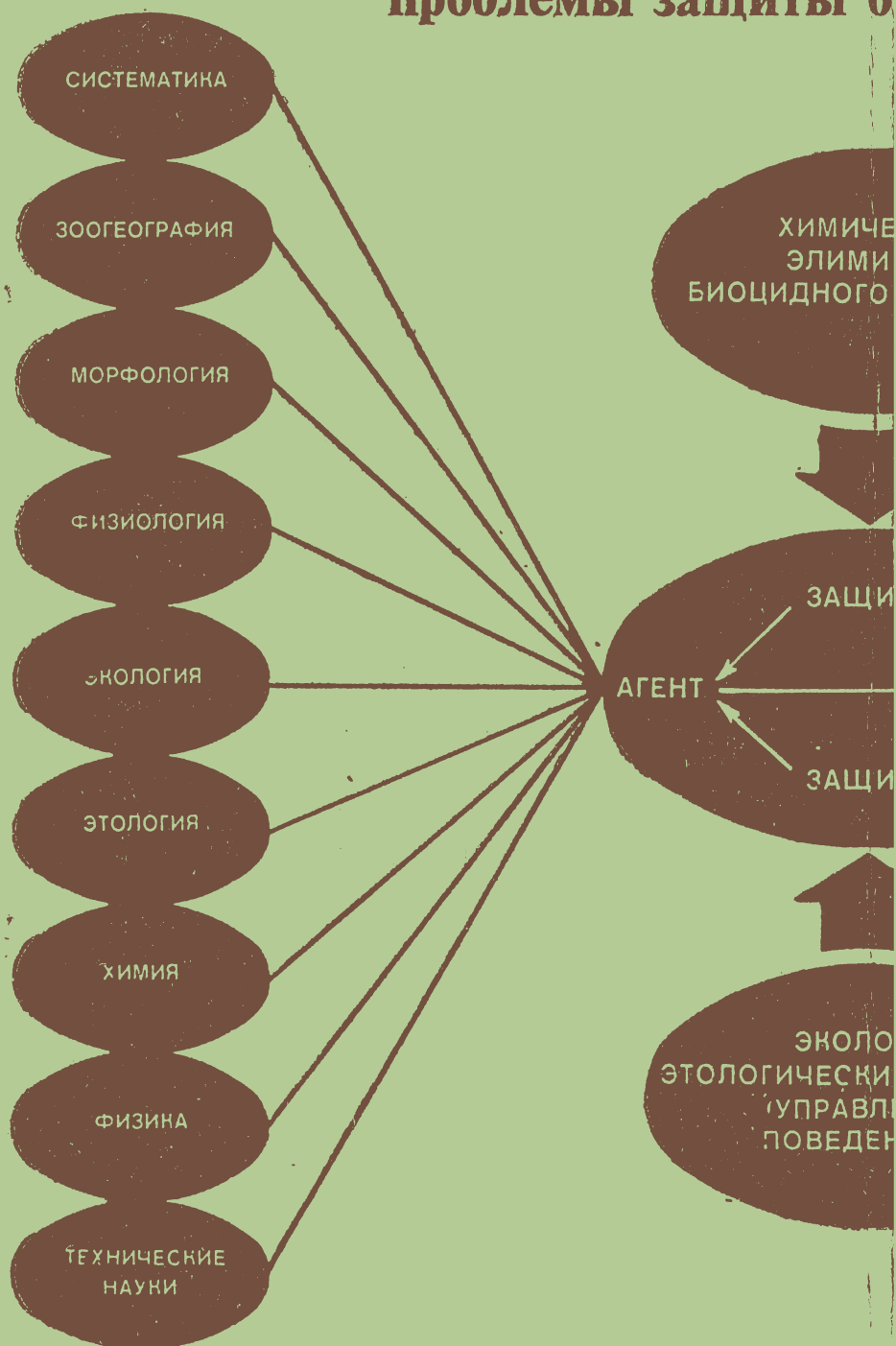
БИО/ ПОВРЕЖДЕНИЯ



*учебное пособие
для вузов*



Основные партнеры, участвующие в решении проблемы защиты от



и заинтересованные в решении т биоповреждений



БИО ПОВРЕЖДЕНИЯ

Под редакцией проф. *В. Д. Ильичева*

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве
учебного пособия для студентов биологических
специальностей высших учебных
заведений



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1987

ББК 20.1
Б 63
УДК 502

В. Д. Ильичев, Б. В. Бочаров, А. А. Анисимов, Н. П. Наумов,
Г. Б. Зевина, И. А. Емельянова, И. В. Злочевская, Д. П. Жужиков,
Р. Д. Жантиев, А. А. Крючков, В. Ф. Смирнов, А. С. Семичева

Рецензенты:

кафедры микробиологии и вирусологии (зав. кафедрой доц. В. А. Иваница) и зоологии позвоночных (зав. кафедрой доц. А. И. Корзюков) Одесского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета им. И. И. Мечникова;

кафедра защиты леса Уральского ордена Трудового Красного Знамени лесотехнического института им. Ленинского комсомола (зав. кафедрой проф. Д. А. Беленков)

Биоповреждения: Учеб. пособие для биол. спец. вузов
Б63 /В. Д. Ильичев, Б. В. Бочаров, А. А. Анисимов и др.; Под ред. В. Д. Ильичева.— М.: Высш. шк., 1987.— 352 с.: ил.

В пособии рассматривается широкий спектр научных и практических задач, связанных с защитой техники, сырья и материалов от воздействия микроорганизмов, грызунов, насекомых и других организмов. Впервые в систематизированной форме дан обширный материал о биоразрушителях разнообразных материалов; от синтетических изделий до подземных сооружений и произведений искусства. Особое место уделено эколого-технологическим основам защиты от биоразрушений.

Б 1601000000(4309000000)—276 113—87
001(01)—87

ББК 20.1
5

Учебное издание

**Валерий Дмитриевич Ильичев, Борис Васильевич Бочаров,
Анатолий Алексеевич Анисимов и др.**

БИОПОВРЕЖДЕНИЯ

Зав. редакцией А. Г. Гаврилов. Редактор Т. А. Рыкова. Младший редактор Е. И. Попова. Художественный редактор Г. А. Коленкова. Технический редактор Э. В. Нудина. Корректор С. К. Завьялова

ИБ № 6407

Изд. № Е—516. Сдано в набор 18.12.86. Подп. в печать 05.03.87. Т-10156

Формат 60×90¹/₁₆. Бум. кн.-журн. № 2. Гарнитура литературная.

Печать высокая. Объем 22 усл. печ. л.+0,25 усл. печ. л. форз.

22,5 усл. кр.-отт. 25,35 уч.-изд. л.+0,42 уч.-изд. л. форз.

Тираж 6500 экз. Зак. № 818. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

© Издательство «Высшая школа», 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема биоповреждений охватывает широкий круг научных и практических задач, связанных с защитой технических устройств, сырья и материалов от повреждения бактериями, грибами, растениями, червями, моллюсками, насекомыми, птицами и млекопитающими как в условиях длительного хранения, так и при перевозке и эксплуатации.

В настоящее время в решении проблемы заинтересованы такие важные отрасли народного хозяйства, как водный, воздушный и наземный транспорт, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность, химическое производство, строительство, энергетика и связь, эксплуатация технических сооружений и установок разного назначения. Повреждая тару и складские помещения, портя хранящиеся в них запасы, бактерии, грибы, насекомые и грызуны наносят значительный ущерб сельскому хозяйству. Активному нападению бактерий и грибов, растений, насекомых, грызунов и других организмов подвергаются ценнейшие памятники культуры (включая архивные материалы, редчайшие книги, бесценные полотна старых мастеров, деревянные и каменные скульптуры и строения), стекло, оптика, разнообразные пластмассы, резины, радиоаппаратура, дорожные покрытия, транспорт и многое другое. Этот далеко не полный перечень показывает, как широк круг специалистов, участвующих в решении проблемы: это биологи, химики, материаловеды, технологи и т. д.

Учитывая широкий фронт исследований, ведущихся в области защиты от биоповреждений, в настоящее время невозможно представить специалиста, одинаково хорошо разбирающегося во всех группах микроорганизмов, растений и животных, а также повреждаемых ими объектах.

На совещании, созванном в 1977 г. Научным советом АН СССР по биоповреждениям и представителями минвузов СССР и РСФСР, заинтересованных ведомств, была выработана стратегия подготовки кадров в этой области. Было признано целесообразным готовить специалистов для работы в конкретных отраслях народного хозяйства, знающих специфический для них круг повреждаемых объектов и видов вредителей, но одновременно с этим ориентирующихся в проблеме в целом, способных на основе общих

представлений после кратковременной переподготовки значительно расширить поле своей деятельности.

В целях расширения подготовки кадров и проведения исследовательской работы в области биоповреждений были созданы специальная лаборатория в Горьковском государственном университете, проблемная лаборатория в Московском государственном университете, подготовлены и включены в спецкурсы разделы по биоповреждениям различных объектов и биоповреждающей деятельности микроорганизмов, растений и животных, средствам защиты от них.

Поскольку данное учебное пособие является первой попыткой создания учебной литературы по биоповреждениям, авторы испытывали большие трудности, стремясь унифицировать изложение всех разделов, сделать материал доступным студентам не только биологического профиля, для которых пособие в первую очередь и предназначается, но и студентам-химикам и в какой-то степени технологам. Пособие может быть полезным аспирантам, преподавателям и специалистам, работающим в различных областях народного хозяйства.

Подчеркивая специфические трудности, с которыми встретились авторы при написании данного пособия, следует сказать, что эти трудности отражают современное состояние проблемы и реальные пути ее решения.

За основу изложения материала в пособии был принят «модельный» вариант, при котором каждая глава посвящается какому-либо одному важному направлению в решении проблемы или какой-либо одной принципиальной ситуации, с которой сталкиваются исследователи и практики в своей работе. Выбор этих направлений и, соответственно, глав осуществлен таким образом, чтобы дать представление не только о проблеме в целом, но и о ее многообразии и многоплановости.

Первая глава посвящена предмету и основным понятиям биоповреждения как эколого-технологической проблемы, причинам ее возникновения и основным закономерностям. Затем даны характеристики отдельных групп организмов, участвующих в биоповреждениях.

Во второй главе дано описание литотрофных и органотрофных возбудителей биологического разрушения материалов, даны классификация, особенности строения, способы размножения грибов, их биологические особенности, вызывающие повреждения материалов и изделий.

В третьей главе книги описаны насекомые: моли, термиты, жуки-кожееды и точильщики, дана общая характеристика их вредоносной деятельности, проанализирован механизм повреждения насекомыми различных материалов, рассмотрены способы повышения их стойкости к воздействию насекомых.

Четвертая глава описывает птиц и млекопитающих, в ней рассмотрены систематический статус птиц и грызунов, их распространение, образ жизни, численность, повреждаемые объекты, а

также основные направления в защите материала и технических устройств от грызунов и птиц.

Пятая глава посвящена биоценозам, повреждающим материалы в водной среде. Описаны группы организмов, наиболее часто встречающиеся в обрастании судов и гидротехнических сооружений: бактерии, грибы, водоросли, моллюски, ракообразные, кишечнополостные и др. Рассмотрены отношения организмов внутри сообществ обрастания, а также эколого-географические факторы. Значительное внимание уделено вопросам разрушения древесины, каменных и бетонных сооружений в водной среде древоточцами и камнеточцами.

Дав характеристику различным группам организмов — агентов биоповреждений, подробно рассмотрены повреждения материалов, вызванные наиболее активными и массовыми группами микроорганизмов. Так, в шестой главе описаны биохимические механизмы повреждений материалов и изделий микроорганизмами, дан анализ изменения физико-химических свойств и технологических параметров промышленных материалов под влиянием агрессивных метаболитов мицелиальных грибов. Седьмая глава посвящена анализу различных материалов и изделий, повреждаемых микроорганизмами, а восьмая — средствам защиты материалов от повреждающего действия микроорганизмов, насекомых, грызунов, птиц, обрастателей и т. д.

Ставя перед собой цель отразить все направления, связанные с решением проблемы и использованием полученных результатов на практике, авторы одновременно стремились объединить их общими подходами, отразить их связи и взаимоотношения между собой, показать системный принцип как ведущий, главный в решении проблемы. Система должна органически вписываться в экологические процессы, протекающие в биосфере, и хозяйственную деятельность человека, обеспечивая своевременное решение всех практических задач в строгом соответствии с природоохранными требованиями и состоянием окружающей среды.

Разработка системных подходов и создание системы практических мер защиты от биоповреждений представляет собой трудную и перспективную задачу, решение которой в значительной степени будет означать кардинальный сдвиг в решении проблемы в целом.

Авторы глубоко благодарны за постоянное внимание и помощь коллегам по работе, что помогло отразить в пособии новые направления на стыке науки и техники, которые в совокупности составили проблему биоповреждений.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Активное освоение среды стало главной причиной того, что биоповреждающая деятельность живых организмов, защита от нее выросла в серьезную проблему. Сама жизнь требовала от науки и практики эффективных средств защиты от биоповреждений. Прежние средства, примитивно защищающие материалы и изделия, при резко возросших масштабах потерь помочь не могли.

Группа специалистов-экспертов, созданная в 1963 г., наметила первостепенные задачи и будущую стратегию. Подготовленные экспертами материалы были положены в основу всех дальнейших организационных действий, и в первую очередь проведения первого международного симпозиума по биоповреждениям (МСБ), который состоялся в Англии в 1968 г. Так проблема биоповреждений получила официальный статус, самостоятельность как научно-практическая проблема, находящаяся на стыке наук и сферы практической деятельности человека. Потребовались значительные усилия специалистов многих стран, направленные на то, чтобы окончательно определить рамки проблемы, терминологию, методические подходы.

В настоящее время координирующие функции в международном масштабе осуществляет Международное общество по биоповреждениям со штаб-квартирой в Астонском университете (Англия). При нем работают Информационный центр, Международный научно-исследовательский комплекс, издаются Международные бюллетени и Библиографический указатель публикаций по биоповреждениям. Все эти организации были созданы в 1968 г. Международные симпозиумы созываются регулярно: II МСБ состоялся в 1971 г. в Нидерландах, III МСБ — в 1975 г. в США, IV МСБ — в 1978 г. в Западном Берлине, V МСБ — в 1981 г. в Англии, VI МСБ — в 1984 г. в США.

В СССР исследования в области защиты от биоповреждений имели давние традиции и в 1967 г. был создан общесоюзный координирующий орган — Научный совет АН СССР по биоповреждениям. Создателем и председателем Совета был известный советский миколог и материаловед профессор Б. К. Флеров. В работе Совета активное участие принимали М. В. Горленко, Н. П. Наумов,

Е. М. Лебедев, И. В. Старостин, Н. С. Строганов, Е. Х. Золотарев и другие ученые.

Одной из главных задач в работе Совета стали всесторонний анализ биоповреждающих ситуаций и создание эколого-технологических основ защиты от биоповреждений на основе обобщения практического опыта и результатов фундаментальных исследований. В отличие от советских ученых зарубежные коллеги подобных задач не ставили, и их координирующие организации разработкой теоретических основ проблемы в целом не занимались.

Развиваясь как новое научно-практическое направление, проблема биоповреждений с самого начала приобретает мировоззренческое значение. Зарубежные ученые видят в биоповреждениях случайные цепи событий, локально проявляющихся и не связанных между собой. Основанная на этих взглядах господствующая за рубежом стратегия защиты носит стихийный, локально-сиюминутный характер.

В отличие от них советские ученые ищут в событиях причинно-временные связи, экологические и технологические закономерности появления, зависимость от биосферных процессов. В стратегии защиты от биоповреждений они выдвигают системные подходы, основанные на прогнозировании биоповреждающих ситуаций, обосновывают необходимость участия в биосферном мониторинге.

Значение проблемы биоповреждений многопланово и трудно поддается оценкам. В экономическом выражении общая сумма потерь от биоповреждений по приблизительным подсчетам оценивается в несколько млрд. рублей в год.

Не менее значительным является социальный аспект ущерба, который практически никак не оценивается, поскольку трудно поддается каким-либо оценкам. Его невозможно оценить в стоимостном выражении, хотя он значителен и по своим последствиям превышает экономический ущерб. Это ущерб памятникам культуры и архивным документам, гибель пассажиров и экипажей воздушных лайнеров, сталкивающихся с птицами, ущерб, причиненный техническим устройствам и сооружениям и т. д.

Экологический аспект проблемы касается взаимоотношений человека с окружающей средой. Биоповреждения и защиту от них следует рассматривать как биосферное явление, включающее человека в сложные и важные для него биоценотические процессы, протекающие в биосфере. Человек насыщает биосферу новыми для нее материалами и изделиями, одни из них биосфера отторгает и разрушает, другие вовлекаются в искусственные и естественные биоценозы и становятся ее компонентами. Учитывая это, человек меняет технологические характеристики создаваемых материалов и изделий из них. Ему выгодно, чтобы материал и изделие служили определенный срок и только затем разрушались под влиянием деятельности живых организмов.

Изучение этих сложных процессов открывает новые возможности в использовании живых организмов в интересах человека.

1

БИОПОВРЕЖДЕНИЯ КАК ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Биоповреждения — реакция окружающей среды на то новое, что вносит в нее человек. Создаваемые человеком материалы и изделия вовлекаются в естественные процессы, протекающие в биосфере, включаются в естественные биоценозы. Во всех ситуациях, связанных с биоповреждениями, взаимодействуют, с одной стороны, организмы и окружающая среда, с другой — творения человеческих рук. Изучая взаимодействие этих компонентов прежде всего с точки зрения их хозяйственной деятельности и существования человека, проблема биоповреждений основывается на комплексных эколого-технологических подходах.

Комплексные подходы учитывают взаимодействие живых организмов — биоповреждающих агентов — между собой, особенно в тех случаях, когда они принадлежат к разным систематическим группам, видам и популяциям или экологически далеки друг от друга. Особое значение имеют связи биоповреждающих организмов с ландшафтно-географическими и зональными факторами. Характер биоповреждающего действия, эффективность применяемых средств защиты зависят от того, в какой среде протекает процесс.

Эколого-технологические подходы предусматривают прогнозирование биоповреждающего действия, позволяющее эффективно защищаться от него, например, путем внесения в структуру создаваемых полимеров элементов с биоцидными свойствами, пропитки древесины и изделий.

ПРЕДМЕТ И ПОНЯТИЕ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

Задачи по проблеме биоповреждений, поставленные перед учеными практикой народного хозяйства сегодня, и главным образом те из них, которые поставит завтрашний день, требуют конкретизации предмета исследований, сферы интересов, основных поня-

тий, которыми необходимо оперировать при рассмотрении специальных вопросов. Сделать это непросто не только потому, что официальная история проблемы слишком непродолжительна и, видимо, недостаточна для того, чтобы говорить о традиционно сложившихся понятиях, но еще и потому, что проблема и на сегодняшний день все еще складывается из большого числа частных задач, отражающих интересы многих заинтересованных участников, каждый из которых имеет свои подходы, цели и свою терминологию. Объединение их едиными терминами и понятиями очерчивает проблему в целом, устанавливает ее границы, намечает взаимоотношения с заинтересованными партнерами.

Термин «биоповреждения» применительно к проблеме возник одновременно с ее официальным оформлением и созданием Научного совета АН СССР, возглавившего исследовательские работы в этом направлении. Он соответствовал английскому слову *biodegradation*, которое появилось для обозначения международных координирующих организаций, например *The Biodegradation Society* — Международное общество по биоповреждениям.

Первоначально оба термина использовались для обозначения отрицательного влияния организмов на функциональные и структурные характеристики материалов и изделий или технического сырья. В последующие годы эта формулировка неоднократно трансформировалась, сужалась и расширялась в соответствии с пожеланиями специалистов, представляющих различных отраслей хозяйства и разные науки. В частности, на определенном этапе в это понятие стали включать и полезную деятельность организмов, направленную на разрушение и утилизацию отживших материалов и изделий. Особенно отчетливо эта тенденция стала выявляться после III Международного симпозиума по биоповреждениям, состоявшегося в 1975 г. в Кингстоне (США) с участием советских ученых.

Неоднократно высказывались мнения о включении в сферу внимания проблемы ущерба, наносимого со стороны организмов урожаю сельскохозяйственных и садовых культур, пищевым продуктам и т. д. В ряде публикаций и сводок, в особенности относящихся к 70-м годам, эти объекты рассматриваются наряду с традиционными, материаловедческими. В то же время этими вопросами давно занимаются другие отрасли хозяйства и области науки, поэтому расширение за их счет круга объектов, относящихся к проблеме биоповреждений, не является бесспорным.

Известный ученый Ван дер Керк (1971) дает следующее определение биоповреждениям: биоповреждение — это любое нежелательное изменение в свойствах материалов, вызванное жизнедеятельностью организмов. Советский ученый Г. И. Каравайко (1976) расширил это определение и предложил называть биоразрушение более широким термином — это любое желательное и нежелательное изменение в свойствах материалов, вызванное жизнедеятельностью организмов. Оба определения не охватывают всего многообразия объектов, повреждаемых организмами.

Учитывая это, будем относить термин «биоповреждения» к ситуациям, когда живые организмы своей деятельностью и присутствием вызывают изменения (нарушения) структурных и функциональных характеристик у объектов антропогенного происхождения или природных объектов, используемых в качестве сырья.

Не считая эту формулировку исчерпывающей, можно рассматривать ее как наиболее общую, охватывающую многообразие биоповреждающих явлений, а потому отражающих сферы интересов и предмет проблемы в целом. Естественно при этом учитывать дополнения, проистекающие из специфических задач каждого из направлений, развивающихся в рамках проблемы и имеющих дело со «своими» объектами, воздействующими на них организмами, применяемыми против них средствами защиты. В этом смысле специалист в области защиты морских судов от обрастаний даст свое определение биоповреждениям, а орнитолог, отпугивающий птиц от аэродромов,— свое, и оба они выскажутся по этому поводу иначе, чем энтомолог, имеющий дело с молями, кожеедами и термитами. Однако общим в определениях будет главный предмет их внимания — творение человеческих рук, повреждаемое организмами и потому нуждающееся в защите.

Вместе с тем каждый из специалистов, давая свое определение термина «биоповреждения», дополняющее и конкретизирующее главное, основное, самое общее, непременно выскажется в пользу того важного для него обстоятельства, что биоповреждения возникают в экологической среде и, следовательно, тесно связаны и зависят от многих сопутствующих природных явлений. Так, специалист по обрастаниям обратит внимание на специфические особенности водной среды, специалист по термитам — почвы, орнитолог — воздушной среды. И в каждом случае эти особенности найдут свое отражение в тех биоценотических контактах, которые непременно возникнут, установятся между объектом, повреждающими его организмами и окружающей средой. Эти контакты могут усилить или ослабить действие организмов на объект или даже полностью блокировать его. Это обстоятельство не может не учитывать специалист в области защиты от биоповреждений.

Отсюда следует, что *биоповреждения — это биоценотическое, ландшафтно-зональное и, в широком смысле, биосферное явление, основанное на взаимодействии экологических и антропогенно-технологических факторов, вызванное заполнением (загрязнением) биосферы результатами человеческой деятельности.*

Возникая в результате взаимоотношения многих экологических и антропогенно-технологических факторов, биоповреждающие воздействия высокодинамичны и развиваются во времени и пространстве в виде сложного процесса, включающего различные этапы, отрезки замедления и ускорения, попятные движения и т. д. Этот сложный процесс называют *биоповреждающим*. Хотя конечным результатом его является изменение структурных и функциональных свойств объекта, эти изменения в объекте могут происходить и на промежуточных этапах, в одних случаях в большей, в других

в меньшей степени. При этом необходимо учитывать и обратные связи, проявляющиеся в воздействии объекта на организм.

Таким образом, биоповреждающий процесс — не односторонне направленный процесс, он характеризуется активным взаимодействием организма и объекта. Биоповреждающий процесс двусторонне направлен, причем в определенные периоды, на определенных этапах преобладает одна или другая его направленность.

Биоповреждающая ситуация, возникающая вследствие одно-временного присутствия всех необходимых компонентов и факторов как предпосылок для возникновения и протекания биоповреждающего процесса, представляет собой одно из наиболее важных понятий проблемы биоповреждений. Это понятие предполагает потенциальную возможность возникновения биоповреждений и поэтому важно в разработке терминологических схем, связанных с прогнозированием биоповреждений.

Важнейшими компонентами, присутствие которых создает биоповреждающую ситуацию, являются живые организмы, которые могут стать источником биоповреждающего воздействия на объект, защищенный или не защищенный специальными средствами. Хотя присутствие этих компонентов в пространственной сфере дистанционно доступно для их взаимодействия, определяет потенциальную возможность биоповреждающего воздействия и, следовательно, создает биоповреждающую ситуацию, но оно еще не запускает биоповреждающий процесс, возникновение которого связано с началом воздействия организма на повреждаемый организм.

Источником биоповреждений называется организм, атакующий материал, изделие, сооружение, природное сырье и вызывающий изменение его свойств в нежелательную для человека сторону. Такие организмы называют также *агентами биоповреждений* или *повреждающими организмами*.

Сооружения, изделия, материалы, сырье, повреждаемые организмами, теряют полезные свойства. Их называют *объектами биоповреждений* или *биоповреждаемыми объектами*.

В понятие объектов биоповреждений включаются *средства защиты* изначально в виде биоцидов, заложенных в них человеком или приданных объектам позднее, в момент, когда опасность биоповреждающего воздействия стала более реальной и потребовала действенных, а не только профилактических мер.

Таким образом, понятие источник (агент) биоповреждений относится к экологической категории, а биоповреждаемый объект и средства защиты — к антропогенно-технологическим. Все они имеют прямое отношение к пониманию причин возникновения биоповреждений как эколого-технологического явления.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ДВОЙСТВЕННАЯ ПРИРОДА БИОПОВРЕЖДЕНИЙ. ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ

В вопросе о причинах возникновения биоповреждений нет единой точки зрения. Существуют взгляды, отдающие предпочтение экологическому фактору как главному и ведущему. Согласно мнению других специалистов, решающим фактором является антропогенно-технологический, целиком зависящий от деятельности человека. В пользу тех и других говорят серьезные аргументы, позволяющие рассматривать биоповреждение то как экологическое явление, то как антропогенно-технологическое. Если рассматривать биоповреждения с позиций эколога, то в его распоряжении будут следующие аргументы. *Биоповреждения всегда так или иначе, прямо или косвенно связаны с окружающей средой*, в одних случаях не затронутой человеком, в других — сильно им измененной и, наконец, в третьих — им созданной. Окружающая среда является фоном, на котором протекают биоповреждающие процессы, подверженные, кстати, ее постоянному влиянию. Вне среды биоповреждения не возникают и не существуют. *Биоповреждения имеют в окружающей среде свои аналоги — экологические прототипы*, свидетельствующие о том, что сходные явления возникали и протекали в природе и до появления человека и, что особенно важно, имеют место сейчас, когда человек, непрерывно насыщая среду изделиями и материалами, создает условия для возникновения биоповреждений.

Так, одно из биоповреждений — обрастание судна водорослями, ракообразными и моллюсками — имеет в природе свои экологические прототипы в виде обросших этими же организмами плавающих предметов естественного происхождения, например упавших в воду деревьев и т. д. При этом реакция организмов на новый предмет, попавший в среду, в частности благодаря деятельности человека, подчас бывает такой же, как на экологически им хорошо знакомый.

Процессы биоповреждений не только испытывают влияния со стороны окружающей среды, но и в свою очередь влияют на нее, меняя все находящееся в ближайшем окружении. Сам по себе объект, созданный человеком и внесенный им в окружающую среду, является мощным экологическим фактором, который в одних случаях активно используется организмами, в других — действует на них отрицательно, в третьих — косвенно открывает для них новые возможности в отношении местообитаний и расселения.

Во всех этих случаях атакующий объект организм меняет свойства и добавляет новые, важные в экологическом отношении качества, одновременно выполняя роль своеобразного гида, вводящего этот объект в биоценотические цепи, существующие в природе или вновь возникающие под влиянием деятельности человека.

Тесные связи биоповреждающих процессов с окружающей средой проявляются в том, что объекты, будучи внесенными челове-

ком в природу, включаются в естественные биоценозы чаще всего с помощью атакующих их организмов, которые связаны с другими членами биоценоза и тем самым предоставляют имеющиеся в их распоряжении сложившиеся контакты вновь рекрутированным членам, ими же «приведенным». В других случаях вокруг объекта и атакующего его организма складывается новый, искусственный биоценоз с новыми биоценотическими связями и взаимоотношениями, в этом случае решающим фактором будут экологическая «полезность» объекта, возможность его использования организмами в экологических целях. На рис. 1 показаны основные пути

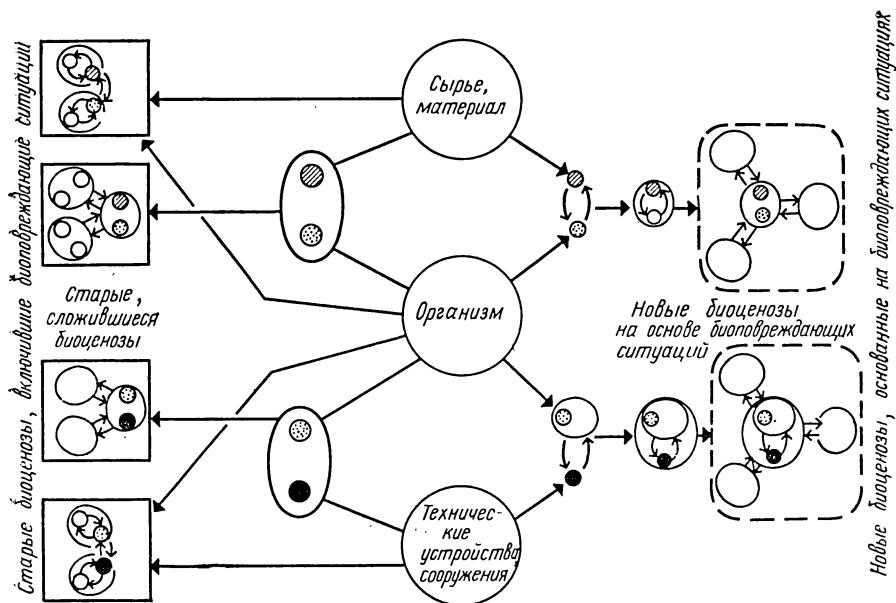


Рис. 1. Биоценотические отношения как фактор в формировании биоповреждающих ситуаций

вовлечения объектов в естественные биоценозы, а также роль объектов в создании новых биоценозов и биоценотических связей.

Таким образом, рассматривая биоповреждения с экологической точки зрения, мы видим, как серьезны и аргументированы позиции специалистов, отдающих предпочтение экологическому фактору в возникновении и развитии биоповреждающего процесса. Однако вполне ли исчерпывающими и до конца аргументированными являются взгляды экологов на природу биоповреждений? Ведь нельзя не учитывать того, что существование антропогенного фактора в виде человека и результатов его деятельности является необходимым условием биоповреждений как явления. Необходимо всегда помнить, что к проблеме биоповреждений имеет отношение только та его часть, которая уже добыта, складирована и в какой-то степени обработана, т. е. включена в производство. Тем более

это относится к сырью, находящемуся в стадий перевозки с использованием любых транспортных средств. Если же оценивать роль антропогенного фактора в возникновении и развитии биоповреждающего процесса более конкретно, то человек фиксирует начало и конец воздействия живых организмов на объект, который он сам производит и вносит в природу, а затем по мере необходимости удаляет из нее. В то же время он может сдвинуть начало биоповреждающего процесса, используя для этой цели специальные защитные средства. Ограничив или сняв вообще действие защитных средств, человек в состоянии открыть дорогу биоповреждающему воздействию, сделав свой объект доступным для организмов.

Не менее важными и существенными для понимания роли антропогенного фактора в возникновении биоповреждений являются функции, регулирующие биоповреждающий процесс, меняющие его силу, ускоряющие или замедляющие его, вплоть до временной остановки. Этими возможностями человек также располагает, имея в своем распоряжении все те же защитные (в этом случае назовем их регулирующие) средства. Существует еще одно направление, связанное антропогенными факторами и основанное на использовании биоповреждений в целях утилизации отработавших материалов и изделий. Эта важная задача также решается на основе регулирующих функций и зависит от умения человека управлять биоповреждающим процессом, регулировать и направлять его действие.

Таким образом, биоповреждение — это одновременно и экологическое, и антропогенно-технологическое явление. Именно это принципиально важное положение составляет основу эколого-технологической концепции биоповреждений (В. Д. Ильичев, 1978, 1979), основные положения которой сводятся к следующему. Биоповреждение возникает и существует в результате взаимоотношения двух начал; одного, связанного с экологическими факторами, и другого — с антропогенно-технологическими. Если мы исключим какое-либо из них, то тем самым искадим реальную картину и наши представления не смогут претендовать на полноту и законченность, ибо при этом мы потеряем главное свойство биоповреждений.

Сложное взаимодействие экологических и технологических компонентов в динамике, ход и направление которой определяются этим взаимодействием, характеризует биоповреждение как явление. При этом человек и результаты его деятельности выступают в этом взаимодействии и как часть окружающей среды, тогда как сама среда, опосредуясь через важнейшие для биоповреждений экологические факторы, становится участником биоповреждающего процесса.

Человек в результате своей деятельности меняет окружающую среду, заполняя ее изделиями своих рук и, невольно не желая того, провоцирует биоповреждения. Активно включаясь в этот процесс, он в одних случаях регулирует его, в других — допускает его стихийное протекание, в третьих — лишь частично оказывает на него

влияние, стремясь уменьшить наносимый организмами ущерб, сократить материальные потери.

Биоповреждение возникает на острие отношений человека с биосферой как конфликт, требующий своего разрешения прежде всего в интересах человека. С этой точки зрения причиной биоповреждающей реакции со стороны биосферы является заполнение среды объектами антропогенного происхождения, ее загрязнение и, как следствие, ответ в виде «самоочищения».

Экологические и антропогенно-технологические компоненты при этом настолько тесно взаимодействуют друг с другом, взаимопроникают друг в друга, что их невозможно рассматривать изолированно как альтернативную причину возникновения биоповреждений. Причиной является взаимодействие этих компонентов, и именно оно обеспечивает целостность наших представлений о биоповреждениях как сложном явлении, имеющем экологическую и одновременно антропогенную природу.

Учитывая двойственную природу биоповреждений, эколого-технологическая концепция акцентирует внимание на следующих важных явлениях, сопутствующих их возникновению и протеканию.

1. Состав повреждаемых объектов постоянно меняется так же, как и перечень повреждающих их видов. Одни из них становятся индифферентными по мере того, как исчезают объекты их нападения, тогда как другие, напротив, обнаружив новый, экологически полезный для них объект, активно нападают на него. Некоторые объекты меняют свои качества, становясь в одних случаях менее важными для биоповреждающих видов. В природе всегда имеется значительный резерв видов, потенциально готовых атаковать новые объекты, но их биоповреждающие свойства проявляются в зависимости от многих сопутствующих обстоятельств и, таким образом, потенциально биоповреждающих видов всегда оказывается больше, чем реально проявивших свои свойства в данный момент.

2. В силу ситуативных факторов в каждый данный момент биоповреждающие свойства проявляют лишь отдельные популяции вида, тогда как другие могут оставаться индифферентными. В другой ситуации картина может меняться, и тогда первые перейдут в разряд скрытых агентов биоповреждений, а вторые выступят в роли явных вредителей.

3. Важным условием проявления биоповреждающих свойств является окружающая среда во всем многообразии экологических факторов, начиная от природно-зональных и климатических и заканчивая проявлениями сезонных и суточных биоритмов организмов. Существенное место в ряду этих факторов занимает деятельность человека в освоении природы, ее загрязнение отходами, заполнение новыми материалами и изделиями. Загрязнение среды человеком, в значительной степени определяющее динамизм экологических факторов, стимулирует биоповреждающую деятельность отдельных организмов, популяций и биоценозов, создавая сложную и подвижную мозаику проявления биоповреждающих свойств.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПОИСКАХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

Присутствие всех компонентов биоповреждения создает биоповреждающую ситуацию как предпосылку. Если взаимодействие компонентов начнет осуществляться, то будет положено начало биоповреждающему процессу. Для начала взаимодействия организм и объект должны встретиться друг с другом. Это может произойти, если заинтересованный в этой встрече организм воспринимает объект, отслеживает его перемещение в пространстве и, наконец, выходит на контакт с ним. Но в других случаях организм не ищет встречи с объектом и контакт между ними устанавливается под действием посторонних сил, необязательно с информационно-сигнальным контролем. Так, семена березы заносятся ветром на каменную стену и из них вырастают деревца, а птицы сталкиваются с самолетами, вызывая их повреждения.

Во всех случаях биоповреждающий процесс начинается только в случае непосредственного контакта организма с объектом, контакт этот достигается целенаправленно (со стороны одного из компонентов или обоих вместе), под действием управляющего ими мониторинга (или природных сил) или же случайно. Организм будет активно «искать» объект в случае, если он в нем заинтересован. Он может проявлять к нему нейтральную реакцию, если объект не имеет для него никакого экологического или информационного значения.

Эта схема в значительной степени относится к животным, однако их вклад в биоповреждения значителен. Существенна способность животных воспринимать объекты на значительных расстояниях, вне непосредственного контакта, и затем уже активно сближаться с ними или избегать их. В этом случае вероятность возникновения и развития биоповреждающего процесса будет зависеть от установления дистанционной связи, односторонне направленной от объекта к животному. Эта связь установится в том случае, если органы чувств животного окажутся способными воспринимать объект. Если же такая связь не установится, то инициатива со стороны животного уже не окажет влияния на возникновение биоповреждающего процесса.

В то же время сам по себе факт восприятия организмом объекта еще не означает неременной биоповреждающей реакции с его стороны. Для этого животное должно быть заинтересовано в объекте как в знакомом, полезном ему ориентире, если объект ему таковой напоминает. Или по крайней мере животное должно проявить к незнакомому объекту исследовательский интерес. Нейтральная поведенческая реакция или тем более репеллентная реакция избегания и бегства не дадут возможности агенту и объекту сближаться, вступить во взаимоотношения и тем самым начать биоповреждающий процесс.

Таким образом, в возникновении значительной части биоповреждающих процессов, связанных с животными, важным фактором является способность последних воспринимать объекты и положительно, аттрактивно реагировать на них.

Принцип экологического подобия объекта и природных ориентиров указывает на то важное обстоятельство, что большинство создаваемых человеком материалов, изделий и сооружений становится объектом биоповреждающего воздействия в первую очередь в том случае, если они экологически подобны (полностью или частично сходны, похожи) и напоминают природные ориентиры. При этом особое предпочтение оказывается тем из них, которые напоминают экологически важные, полезные для организма природные ориентиры. Если же эти полезные свойства при непосредственном контакте агента и объекта подтверждаются, то связи между ними приобретают характер постоянных и прочных и закрепляются в поведенческих реакциях. Если контакты организма с объектом осуществляются на основе исследовательской реакции или они вообще случайны, то дальнейшее поведение организма будет зависеть также от экологической полезности объекта, и в зависимости от этого материал или изделие будет подвергаться постоянным и усиленным атакам или же последние будут носить случайный характер.

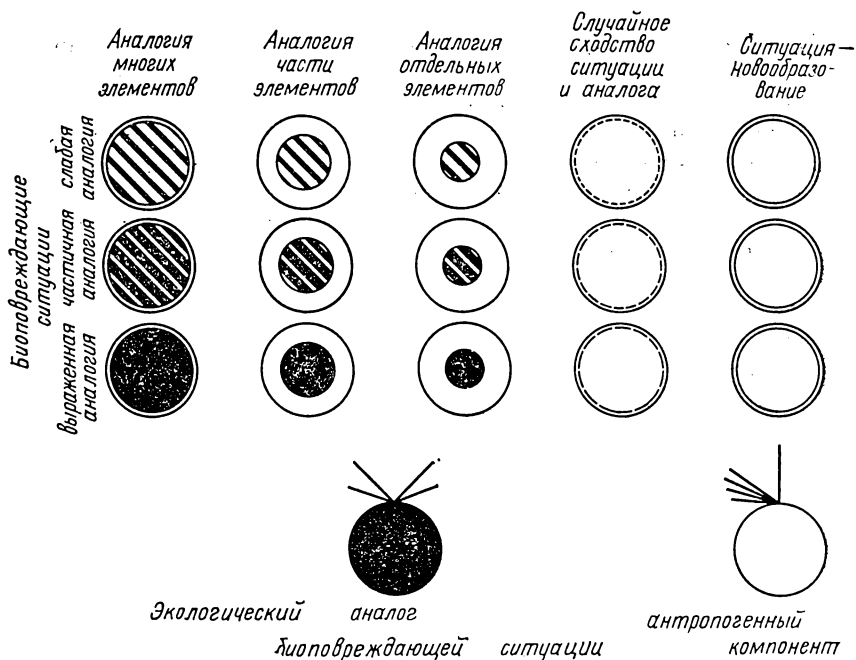


Рис. 2. Взаимоотношения антропогенных и экологических компонентов в формировании биоповреждающих ситуаций

Для большинства биоповреждений существуют свои *природные аналоги*, основанные на сходстве материала и изделия с природными, давно известными и используемыми различными организмами в своих жизненных целях (рис. 2). В отдельных случаях сходство ограничивается экологически несущественными параметрами, в других материалы или изделия оказываются сходными по экологически важным характеристикам и тогда они становятся объектом регулярного нападения и использования (т. е. биоповреждения) со стороны организма (организмов). При этом в экологическом освоении этого объекта организм использует те же адаптивные приемы, что и в отношении его экологического прототипа, к которому он уже адаптирован. Наличие таких адаптаций как бы «преадаптирует» организм к объектам, позволяет их осваивать, пользуясь проторенными путями. Другое дело — новые для вида материалы и изделия, не имеющие аналогов и не знакомые организму, выходящие за пределы его адаптивной настройки. Здесь все будет зависеть от видовых характеристик организма, их способности перестраиваться или меняться. В одних случаях это удастся, и тогда новый материал и изделие также становятся объектами биоповреждающего действия, в других — нет, и организмы перестают реагировать на них.

Таким образом, наиболее повреждаемыми объектами становятся материалы и изделия, имеющие в природе экологические прототипы, прежде всего потому, что организмы как бы «преадаптированы» к ним, во-первых, с точки зрения их восприятия, во-вторых, освоения и использования в жизненно важных целях. По каждому из этих направлений можно строить защиту, блокируя восприятие и уничтожая сходные параметры и полезные свойства.

Существование прототипа — путь в поиске средства защиты. И если природа избрала то или иное средство, направленное против атакующего организма, вооружив, например, им жертву против хищника, то можно быть уверенным, что это средство в процессе эволюции прошло длительную шлифовку и поэтому действует эффективно и надежно. Сама природа в этом случае как бы подсказывает не только отдельные приемы, но и стратегию защиты от биоповреждений, направляя по такому пути, каким пользуются в своих взаимоотношениях биоценотические партнеры, защищаясь друг от друга (рис. 3). Конечно, подражание природе не следует понимать буквально — это всего лишь использование принципа, подсказка исследователю, которая может существенно облегчать его поиски и в какой-то степени застраховать от ошибочных действий.

Одним из наиболее перспективных путей в поиске и разработке новых методов защиты от биоповреждений, подсказанных самой природой, является использование этологических средств и, в частности, средств отпугивания от объектов. В основе этологических средств защиты от биоповреждений лежит имитация природного ориентира, которая подкрепляется действием экологически важного фактора, содержащего жизненно важные для организма ком-

поненты. Так, например, имитация криков бедствия птиц, предупреждающих об опасности, одновременно подкрепляется демонстрацией макета хищника, человека, стреляющего из ружья, и т. д., только тогда действие этих средств становится эффективным и долговременным. Звук стреляющего ружья как этологическое средство отпугивания птиц эффективно только в том случае, если при этом демонстрируется и ружье, и подраненная выстрелом, бьющаяся в судорогах птица. Полезным фактором, существенно повышающим эффективность отпугивающих средств, является одновременная демонстрация привлекательного для животного аттрактивного ориентира, имеющего для него жизненно важное значение. Жизненно важные ориентиры, подкрепляющие этологическое средство, должны быть представлены не только опознавательными признаками, имитирующими их и создающими эффект мнимого присутствия, но и натуральными раздражителями, демонстрирующими свое активное действие на животное.

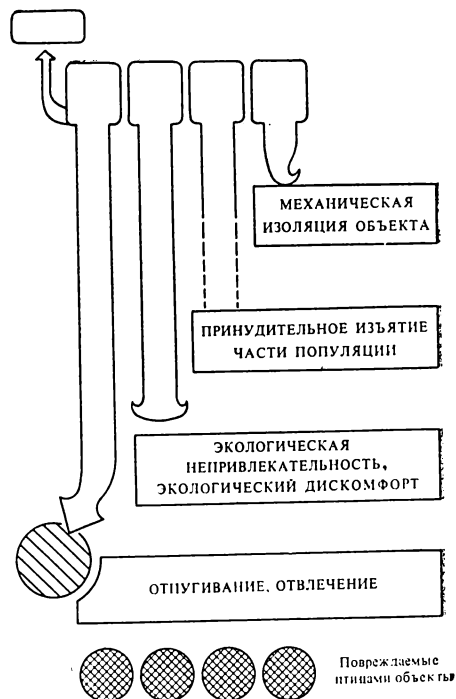


Рис. 3. Основные направления защиты от биоповреждений

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ВОЗНИКНОВЕНИИ И ЗАЩИТЕ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ. ПРИНЦИП МОЗАИЧНОСТИ

Характер взаимоотношений между основными компонентами биоповреждающего процесса может быть представлен следующим образом (рис. 4). Организм — биоповреждающий агент — воздействует на объект (материал, изделие, устройство, сооружение), вызывая изменение его характеристик в нежелательную для человека сторону, в свою очередь испытывая обратные воздействия со стороны объекта, главным образом за счет защищающих его средств. Последние могут активно воздействовать на организм вплоть до его элиминации, в одних случаях биоциды, в других репелленты. Специальные средства блокируют механизм биоповреждающего воздействия, т. е. ограничивают взаимодействие между организмом и объектом, или вообще изолируют объект, тем самым предотвращая биоповреждающий эффект.

Факторы, влияющие на взаимоотношения основных компонентов и, следовательно, на биоповреждающий процесс, распадаются на две большие категории. В первую включаются эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы, во вторую —

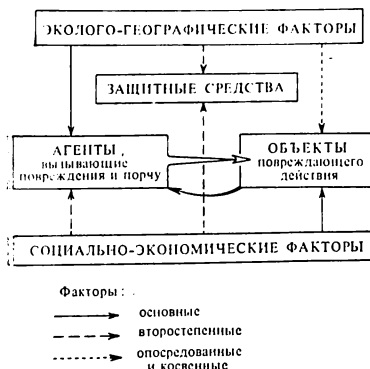


Рис. 4. Участники биоповреждающей ситуации и характер связей между ними

социально-экономические. Эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы влияют преимущественно на организмы — источники биоповреждений, в меньшей степени и частично на средства защиты (не все) и лишь косвенно и опосредованно — на объекты биоповреждающего воздействия, например, определяя их характеристики при изготовлении в зависимости от климатических условий. Социально-экономические факторы действуют главным образом на объект, определяя при конструировании и изготовлении не только его полезность для человека и удобства эксплуатации, но и защищенность от биоповреждений. Эта категория факторов может

влиять на организмы путем сокращения их численности и даже элиминации, т. е. радикальным способом. И хотя эти влияния также значительны, на биоповреждающий процесс они действуют опосредованно и косвенно, уступая в этом своем воздействии на объект, который от начала и до конца создается человеком и поэтому находится под его контролем и зависит от социально-экономических факторов.

За каждым из звеньев предложенной блок-схемы стоит огромное разнообразие видов животных, растений и микроорганизмов, повреждающих множество материалов, изделий, устройств и сооружений, защищенных многими средствами.

Если дать описанную схему для конкретного вида и повреждаемого им объекта, защищенного специальным средством, то таких схем получится немного, но они будут существенно осложнены, причем в роли осложняющих факторов выступают еще и эколого-географические, популяционно-биоценотические и социально-экономические влияния.

В результате перед нами предстанет сложная мозаика взаимоотношений и еще более сложная мозаика биоповреждающих процессов, непрерывно меняющаяся в силу пополнения биосферы новыми и новыми материалами и изделиями, вовлечения новых видов в круг биоповреждающих агентов.

Это явление названо В. Д. Ильичевым *принципом мозаичности в возникновении биоповреждений*.

Представим себе участие в биоповреждающих процессах основных групп живых организмов, их связь с основными категориями

материалов, изделий, устройств и сооружений, которые ими повреждаются. На рис. 5 схематично изображены эти связи. Агентами биоповреждений могут быть различные бактерии, грибы, лишайники, водоросли, высшие растения, простейшие, кишечнополостные, черви, мшанки, моллюски, членистоногие, иглокожие, рыбы, птицы, млекопитающие; биоповреждаемыми объектами — кирпич, камень, здания, сооружения, древесина и изделия из нее, металл и металлоизделия, бумага, документы, фото, книги, музейные коллекции, краски, клеи, кожи, шерсть, одежда, обувь, нефть, нефтепродукты, стекло, силикаты, оптика, пластмассы, полимеры, резины, радио- и электрооборудование, транспортные средства, дорожные покрытия; биоповреждения могут осуществляться в водной и воздушной средах, почве и грунтах.

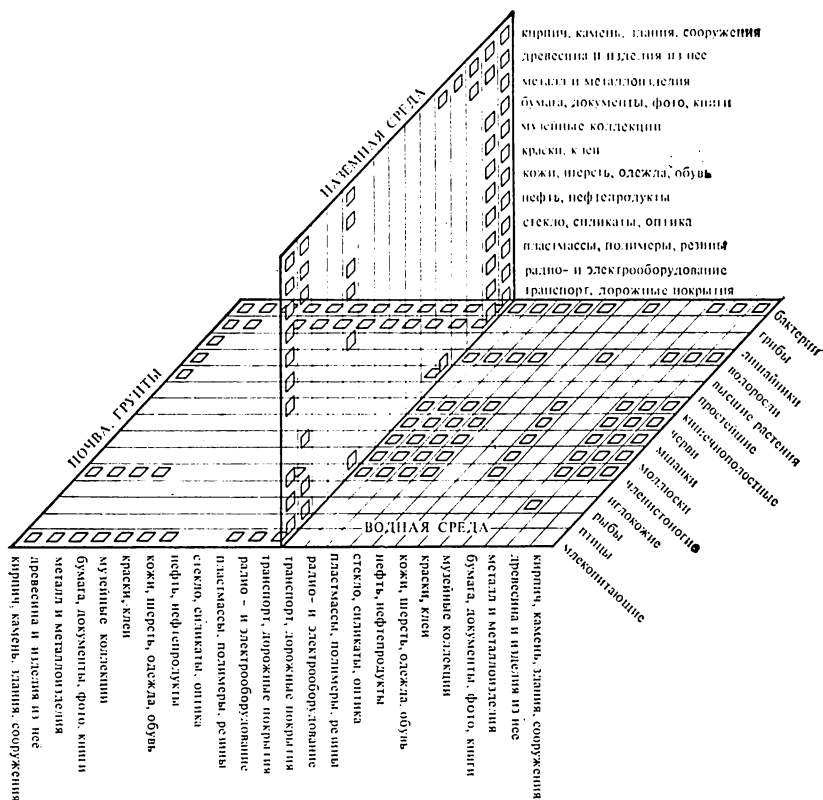


Рис. 5. Мозаичный характер проявления биоповреждающих ситуаций

и металлоизделия, бумага, документы, фотографии, книги, музейные коллекции, краски, клеи, кожи, шерсть, одежда, обувь, нефть, нефтепродукты, стекло, силикаты, оптика, пластмассы, полимеры, резины, радио и электрооборудование, транспортные средства, дорожные покрытия; биоповреждения могут осуществляться в водной и воздушной средах, почве и грунтах.

Принцип мозаичности проявляется уже на уровне высших систематических категорий животных, растений и микроорганизмов, классификационных подразделений объектов и средств защиты. Однако наиболее всестороннее и полное его проявление мы видим,

прослеживая эти связи на более низких уровнях. Так, биоповреждающих представителей мы встречаем не во всех, а только в некоторых, мозаично рассеянных в системе класса отрядах, в отряде — не во всех семействах, а лишь в некоторых, в семействе — не во всех родах, а в некоторых, в роде — биоповреждающими оказываются не все виды, а некоторые (рис. 6).

В то же время современные данные свидетельствуют о необходимости продления этого принципа до уровня популяции, поскольку у многих видов по разным причинам участвуют в биоповреж-

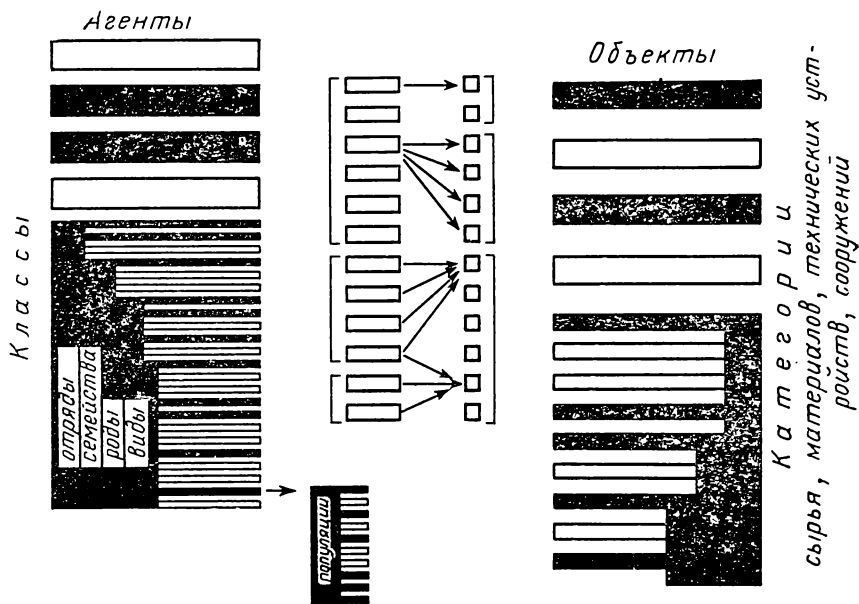


Рис. 6. Систематическая и объектная выборочность во взаимоотношении повреждающих агентов и объектов

дениях не все популяции, а лишь некоторые. Если же попытаться связать биоповреждающие виды (популяции) с повреждающими их объектами и используемыми при этом средствами защиты, то общая картина осложнится за счет следующих, реально проявляющихся зависимостей:

один вид (популяция) повреждает многие, классификационно близкие объекты, защищенные одним средством;

один и тот же вид (популяция) повреждает один или немногие классификационно близкие объекты, защищенные одним средством;

один и тот же вид (популяция) повреждает многие классификационно дальние объекты, защищенные классификационно далекими средствами;

один вид (популяция) защищает многие классификационно далекие объекты, защищаемые одним или немногими классификационно близкими средствами;

один вид (популяция) повреждает классификационно близкие многие объекты, каждый из которых защищается одним и тем же набором средств;

один вид (популяция) повреждает многие классификационно близкие объекты, каждый из которых защищается различным набором средств;

один вид (популяция) повреждает многие классификационно далекие объекты, каждый из которых защищается одним и тем же набором средств;

один вид (популяция) повреждает классификационно далекие объекты, каждый из которых защищается различным набором средств;

один и тот же объект повреждается многими систематически близкими видами, чувствительными к одному и тому же защитному средству;

один и тот же объект повреждается многими систематически далекими видами, чувствительными к многим классификационно различным средствам;

один и тот же объект повреждается многими систематически далекими видами, чувствительными к одному и тому же или немногим классификационно близким средствам;

один и тот же объект повреждается многими систематически далекими видами, чувствительными к одному и тому же или немногим классификационно близким средствам;

один и тот же объект повреждается многими систематически далекими видами, чувствительными к одному и тому же или немногим классификационно близким средствам;

один и тот же объект повреждается многими систематически далекими видами, чувствительными к немногим классификационно далеким средствам.

Используя несложные расчеты, можно оценить возможное число таких сочетаний и показать, что оно достигает значительной величины.

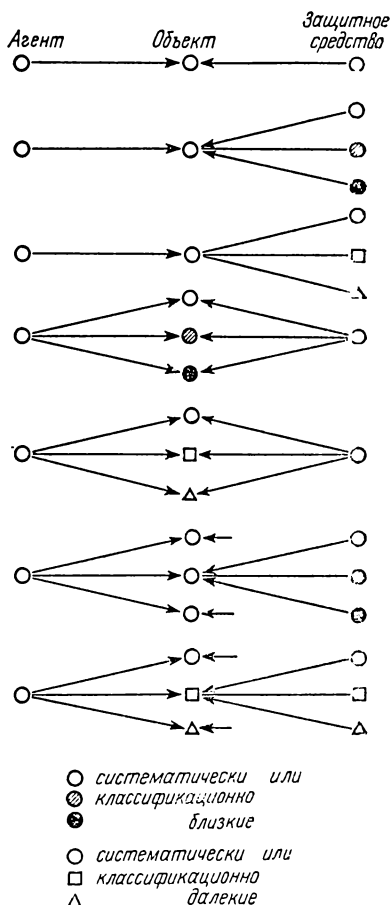


Рис. 7. Замещаемость агентов и объектов в развитии биоповреждающих ситуаций

На практике же имеют дело со значительно меньшим — реальным числом, оно интересно прежде всего как показатель многообразия мозаичного распределения не только внутри одного систематического или классификационного ряда агентов, объектов или средств защиты, но и в отношениях между рядами (рис. 7).

Таким образом принцип мозаичности проявляется по крайней мере в виде нескольких феноменов: автономно в систематических и классификационных рядах (агенты, объекты) и опосредованно через реально существующие связи и взаимоотношения между отдельными представителями каждого ряда. Мозаичное проявление биоповреждающих свойств определяет направленность и общую стратегию защиты от биоповреждений и, что особенно важно, диктует необходимость системных подходов.

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ПОПУЛЯЦИОННО-БИОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ БИОПОВРЕЖДАЮЩЕГО ПРОЦЕССА

Присутствие вида там, где есть объект, еще не означает начало биоповреждающего процесса, так как многие факторы могут препятствовать установлению контактов между ними, необходимых для возникновения и развития биоповреждений. Таким ограничивающим фактором могут быть эколого-географические явления. Во-первых, потому, что связанные с возможностью экологически использовать объект факторы могут неодинаково проявляться по ареалу вида; во-вторых, для того чтобы агент и объект нашли друг друга, они должны быть достаточно многочисленны и равномерно распределены настолько, чтобы объект по крайней мере оказался в зоне действия органов чувств организма; в-третьих, организм должен принадлежать к биоповреждающей популяции, склонной к контактам с данным объектом и уже имеющий опыт таких контактов; в-четвертых, время осуществления контактов должно благоприятствовать в погодном и сезонном отношении биоповреждающей активности агента.

Поскольку все эти факторы в пределах обширного ареала биоповреждающего вида, а большинство таких видов занимают значительные ареалы, пересекающие многие природные зоны, существенно различаются, вероятность возникновения биоповреждений неодинакова в географически удаленных местностях. Вместе с тем влияние географического фактора проявляется и на основе различий в видовых комплексах. Опыт защиты от биоповреждений показывает, в частности, что в возникновении и развитии биоповреждений большое значение имеет видовой состав местной фауны и флоры. Так, в разных местностях одни и те же виды могут вести себя неодинаково по отношению к объекту и средствам защиты (схематично это изображено на рис. 8).

В определении роли эколого-географического фактора необходимо учитывать и связанные с ним различия в хозяйственной дея-

тельности и жизни человека в условиях различных природных зон, его численности и отношении к природе. Таким образом, социально-экономические факторы в одних случаях проявляются независимо, в других — опосредуются через экологические и географические условия и зависят от них.

Популяционно-биоценотические факторы, проявляющиеся географически различно, являются одними из непосредственных механизмов биоповреждающего воздействия окружающей среды.

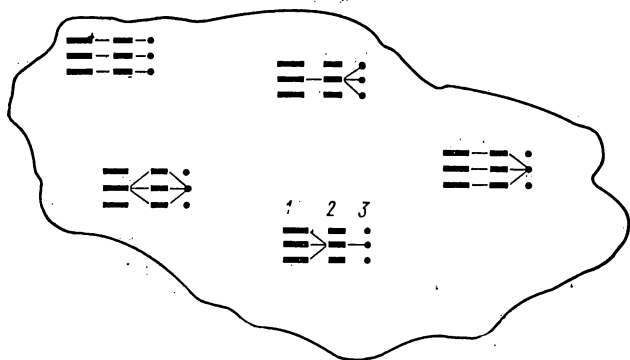


Рис. 8. Фактор региональности во взаимоотношениях участников биоповреждающих ситуаций:

1 — агент, 2 — объект, 3 — средство защиты

Есть все основания считать популяцию той минимальной единицей биоповреждающего воздействия, которая осуществляет его, одновременно замыкаясь на собственные биоценотические связи, вовлекая последние в биоповреждающие процессы.

Через популяцию и биоценоз виды реально участвуют в осуществлении биоповреждающего процесса. Именно биоценоз независимо от того, естественным или искусственным путем он сложился, осуществляет непосредственный контакт созданного человеком и вынесенного в окружающую среду материала и изделия с биосферой, контакт, в конечном счете приводящий к возникновению и развитию биоповреждающего процесса. И на острие этого контакта располагается популяция биоповреждающего вида, замкнутая на биоценотические связи и сама по себе являющаяся частью биоценоза. Если популяция «вводит» созданный человеком материал и изделие в биоценоз, то сам биоценоз включает их в сложные биосферные отношения, замыкая цепь *материал (изделие) — популяция — биоценоз — биосфера*.

Не следует думать, что вовлечение материала (изделия) в эти отношения не влияет на развитие и направленность биоповреждающего процесса, его силу. Напротив, биоценотические связи — один из самых существенных факторов, которые могут ускорить

или затормозить, даже блокировать возникновение биоповреждающего процесса, изменить его характер и направленность, продолжительность и, конечно, повлиять на его последствия.

Благодаря своим связям с популяцией биоповреждающего вида остальные члены биоценоза также вольно или невольно вовлекаются в биоповреждающий процесс и становятся косвенными, а иногда и прямыми его участниками. В известном смысле весь биоценоз становится своеобразным макроисточником биоповреждения. Эти обстоятельства приходится учитывать при разработке стратегии защиты от биоповреждений и выборе конкретных защитных мероприятий.

Завершая рассмотрение биоповреждений как сложного явления двойственной природы, укажем комплекс вопросов, которые решаются в настоящее время учеными и практиками.

1. Изучение систематики, биогеографии и экологии организмов, вызывающих биоповреждения. Изучение их адаптивных свойств и возможностей, обеспечивающих приспособляемость на разных стадиях жизненного цикла, освоение новых биотопов (в том числе созданных человеком), расселение в другие регионы.

2. Изучение биоповреждающей (и биоразрушающей) деятельности организмов в зависимости от ландшафтно-зональных условий и микроклимата, технологических режимов получения сырья, изготовления, хранения и эксплуатации материалов, изделий, устройств и сооружений.

3. Испытание биостойкости материалов, изделий, устройств и сооружений с использованием существующих способов защиты, в том числе и профилактического действия, в различных природных и антропогенных средах.

4. Выявление экологических аналогов и создание на их основе новых эффективных средств защиты от биоповреждающей деятельности организмов (животных), включая отпугивание, отвлечение или привлечение в сочетании с ловушками.

5. Разработка безопасных для полезных организмов, человека и окружающей среды, экологически оправданных методов регуляции численности (или снижения продуктивности) биоповреждающих организмов и их сообществ.

6. Изучение возможностей организмов разрушать отходы производства и продукты загрязнения окружающей среды, разработка методов биологического разрушения с использованием биоповреждающих средств.

Таковы теоретические подходы к решению проблемы и основные пути их практической реализации на сегодняшний день.

УЧАСТНИКИ И ПАРТНЕРЫ

Сложность и многоплановость решения проблемы естественно отражаются на составе заинтересованных участников и партнеров — смежных наук и сфер практической деятельности человека. Одни из них стоят на ближайших подступах к решению пробле-

мы, создавая как бы первый эшелон исследователей, тогда как другие располагаются в отдалении и их участие менее выражено. И, наконец, последние эшелоны составляют науки, сравнительно мало вкладывающие в решение проблемы, но получающие многое от ее решения. Общая схема взаимоотношений партнеров изображена на рис. 9. Все они делятся на две категории.

К первой категории относятся фундаментальные науки, имеющие дело с источниками биоповреждений. Таковы систематика, зоогеография, морфология, физиология и, конечно, экология био-

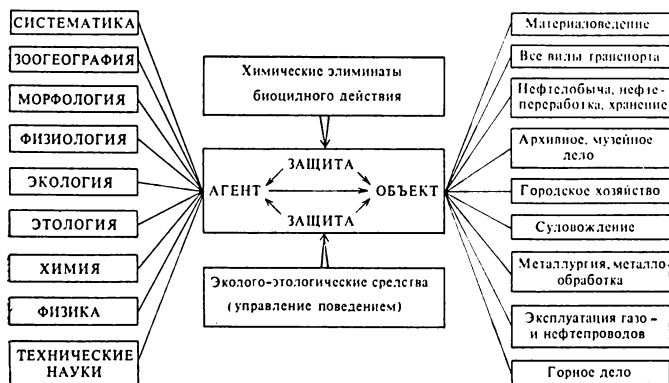


Рис. 9. Основные партнеры, заинтересованные и участвующие в защите от биоповреждений

повреждающих групп. Ко второй — прикладные науки и сферы человеческой деятельности. В результате их взаимодействия проблема получает важные сведения о видовой принадлежности, численности, распространении и образе жизни микроорганизмов, растений и животных, вызывающих биоповреждения. Популяционная экология, помощь которой становится все более ощутимой, решает эти вопросы применительно к отдельным популяциям.

Материаловедение изучает результаты биоповреждающего действия и степень влияния на характеристики объекта. Совместно с химиками, с одной стороны, биологами — с другой, разрабатываются средства защиты, с помощью которых нарушается, блокируется взаимодействие между организмом и объектом, направляется в безопасную для человека или даже полезную для него сторону (биоразрушение отходов и отбросов).

Выполняя роль своеобразного «мозгового центра», экология оценивает результаты этого взаимодействия в широком биоценотическом, ландшафтно-зональном и даже биосферном масштабе, перспективы этого взаимодействия, возможность управлять им в интересах человека.

В решении проблемы биоповреждений каждый из партнеров занимает свое особое место, привнося свои методы и подходы и получая все необходимое и нужное.

2

БАКТЕРИИ И ГРИБЫ- ИСТОЧНИКИ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

Биоповреждения материалов микроорганизмами известны очень давно. Упоминания о них встречаются у Плиния и Гомера.

Издавна применялись различные средства защиты от биоповреждения материалов. Например, при сооружении висячих садов Семирамиды предусматривались меры против сырости; для предотвращения повреждений древесины использовали жидкую смолу, листы свинца, асфальт.

Из этих примеров видно, что некоторые элементы сегодняшней науко обоснованной защиты от биоповреждений существовали уже в те далекие времена. Однако переломный момент наступил после того, как была установлена роль микроорганизмов в процессах разрушения материалов. В XIX в. было начато изучение повреждений древесины.

Древесина, повреждаемая грибами,— наиболее изученный материал. Обширные исследования в этой области многие годы ведутся в Сенежской лаборатории консервирования древесины ВНИИДрев под руководством С. Н. Горшина.

В 30-х годах нашего столетия активизировались работы по изучению микробиологического повреждения бумаги, включая книги и документы. Большой вклад в решение этой проблемы внесли советские ученые В. Л. Омелянский, Л. А. Белякова, З. А. Загуляева, Ю. П. Нюкша и др.

Роль грибов в поражении других промышленных материалов в основном начали изучать со времени окончания второй мировой войны. Более ранний период представлен только отдельными немногочисленными работами, не раскрывающими специфики микробного повреждения. Имеются сведения, что в годы второй мировой войны в тропических регионах погибло большое количество военного снаряжения различных стран. Например, в Новой Гвинее микроорганизмами было приведено в полную негодность все имущество австралийской армии (брзанты, тенты, обувь, одежда, резиновые изделия, электрооборудование, радиостанции и пр.).

В умеренном климате грибы вызывают повреждения промышленных материалов во время их изготовления, когда производство сопряжено с высокой температурой и влажностью, при нарушении условий хранения и эксплуатации, транспортировке. В тропическом и субтропическом климате развитие грибов происходит более интенсивно, а следовательно, ущерб, причиняемый грибами, значительнее.

Сейчас известно, что из всех исследованных микроорганизмов грибы приносят наибольший вред материалам. Они повреждают все природные, многие синтетические материалы и даже стальные и железобетонные конструкции. Не избежали разрушающего действия микромицетов и памятники культуры и искусства. Например, всем известны повреждения, вызванные грибами на фреске Леонардо да Винчи «Тайная вечеря».

Разрушения материалов грибами зависят от их состава. В первую очередь повреждаются материалы, содержащие питательные вещества для грибов. Это ткани из натуральных волокон, древесные наполнители, белковые клеи, углеводороды. Используя указанные материалы в качестве источников углерода и энергии, грибы приводят их в негодность. Кроме того, установлено, что порче подвергаются также материалы, не содержащие никаких питательных веществ, например металлические изделия, оптические приборы. Наглядным примером может служить разрастание мицелия по поверхности оптического стекла. Даже небольшое прорастание грибных спор приводит к тому, что оптические приборы не могут быть использованы по назначению.

После удаления грибного налета на стекле остаются следы, напоминающие мицелий, — «рисунок травления». Это следствие разрушения поверхности стекла продуктами метаболизма биодеструкторов, главным образом органическими кислотами.

В подобных случаях одной из причин повреждения являются загрязнения, попадающие на поверхность материала. Так, например, источником питания грибов, разрушающих мрамор Миланского собора, служат экскременты голубей. В тропических странах грибному повреждению сопутствует наличие большого количества пыли, содержащей отмершие остатки тропической растительности. Причиной повреждения материалов, не содержащих питательные вещества, может быть контакт с зараженным материалом. Так, повреждение биноклей иногда происходит от поврежденных кожаных футляров. Подобная ситуация возникает в изделиях, изготовленных из разнообразных металлических и неметаллических материалов, соприкасающихся друг с другом.

БАКТЕРИИ

У бактерий клетки прокариотического типа, отсутствует оформленное ядро, ядерная ДНК не отделена от цитоплазмы, мембранные структуры не замкнуты, не образуют вторичных полостей в клетке. Рибосомы — 70S-типа.

Отдельные группы бактерий отличаются по используемым ими источникам энергии и углерода. Бактерий, которые в качестве источника энергии используют свет, относят к *фототрофам*. У бактерий *хемотрофов* источником энергии служат окислительно-восстановительные реакции. Организмы, у которых донорами электронов в энергетическом процессе служат неорганические вещества, называют *литотрофами*, а организмы, использующие в качестве источника электронов органические вещества, относят к *органотрофам*. В зависимости от источника углерода в качестве строительного, пластического материала бактерии, как и все другие живые организмы, делятся на *автотрофов* (единственный источник углерода для построения веществ тела — углекислота) и *гетеротрофов* (источники углерода — готовые органические соединения).

Широкие возможности бактерий как агентов биоповреждения связаны со способностью их отдельных систематических групп использовать все перечисленные источники энергии, доноры электронов, углерода. Большая часть бактерий, участвующих в коррозии металлов, относится к *хемотрофам* (табл. 1).

При биоразрушениях промышленных материалов, очень часто имеющих неорганическую природу, наиболее важна особенность многих бактерий существовать без использования органических веществ из окружающей среды. Большую роль играет также способность ряда видов бактерий сохранять жизнеспособность при экстремальных условиях среды: высоких температур (до 80°C, а иногда и выше) и давления, сильной кислотности или щелочности, достаточно интенсивном облучении, больших концентрациях солей и т. д. Следовательно, наличие таких условий в каком-либо производстве, технологической операции не может быть поводом для успокоенности по вопросу борьбы с биокоррозией. Так, для хемолитотрофных и гетеротрофных бактерий верхний температурный предел роста достигает нередко 90°C и несколько выше. Например, у активных возбудителей биокоррозии металлов бактерий рода *Thiobacillus* максимальная температура роста составляет 60°C, у одного из видов сульфатредуцирующих возбудителей биокоррозии — 70°C. Некоторые бактерии, окисляющие среду, способны к росту при температуре около 90°C. Термостабильность такого рода бактерий объясняют высокой термостойкостью их белков, прежде всего ферментов. Липиды их мембран характеризуются повышенным содержанием насыщенных и разветвленных жирных кислот с большим числом атомов углерода. Таким липидам свойственна высокая температура плавления, что также придает термостойкость самим биомембранам.

Известны бактерии, не прекращающие рост и размножение при pH 1 или при pH 10. Так, один из представителей рода *Thiobacillus* имеет оптимум роста при pH 1—3, а другой вид этого рода способен развиваться при pH 9,8.

Удивительно высока стойкость бактерий и к повышенному давлению. Выделены виды, способные расти при давлении 750 атм, для некоторых оптимальное давление лежит в границах 100—

Таблица 1. Способы существования хемотрофов
(по М. В. Гусеву и Л. А. Минеевой, 1978)

Доноры электронов	Конечные акцепторы электронов	Источник углерода для построения вещества тела	Способ существования	Представители
Неорганические соединения (H_2 , H_2S , NH_3 , Fe^{2+} и др.)	Молекулярный кислород	CO_2	Хемолитоаэроавтотрофия	Нитрифицирующие, тионовые, водородные бактерии
		Органические соединения	Хемолитоаэрогетеротрофия	Некоторые водородные и железобактерии
	CO_2 , SO_4^{2-}	CO_2	Хемолитоанаэроавтотрофия	Метанобразующие бактерии
		Органические соединения	Хемолитоанаэрогетеротрофия	Сульфатовосстанавливающие бактерии
Органические соединения	Молекулярный кислород	CO_2	Хемоорганонаэроавтотрофия	Окисление муравьиной кислоты бактериями
		Органические соединения	Хемоорганонаэрогетеротрофия	Большинство бактерий
	Органические соединения	CO_2	Хемоорганонаэроавтотрофия	Метанобразующие бактерии
		Органические соединения	Хемоорганонаэрогетеротрофия	Молочнокислые, маслянокислые и другие бактерии, осуществляющие брожение

300 атм. Установлено, что у таких бактерий при повышении давления от 1 до 300—500 атм увеличивается скорость некоторых ферментативных реакций, меняется направленность ряда биохимических процессов. Сульфатредуцирующие возбудители биокоррозии, например, были выделены из нефтяных скважин на глубине более 3500 м, где давление превышает 400 атм, при этом температура колеблется от 60 до 105°C.

Столь же велика может быть стойкость ряда видов бактерий к высокому содержанию солей в окружающей среде. Некоторые, на-

пример, способны к росту в насыщенном растворе NaCl (около 32%).

Разрушение бактериями твердых материалов в известной мере связано с хорошо выраженной у них способностью адсорбироваться на поверхности твердых тел, частиц. Зачастую это является первым этапом бактериальной деструкции твердых материалов (А. Ю. Звягинцев, 1973). Общеизвестна, например, способность бактерий прикрепляться к поверхности стекла. Она отчетливо наблюдается при погружении стекол в культуральную жидкость или почву, воду. Прикрепление бактерий к стеклу происходит в два этапа. При кратковременном контакте стекла и бактерий осуществляется первый этап, когда прикрепление еще недостаточно прочное, адсорбированные бактерии легко смываются с поверхности. Однако и такая адсорбция бактерий на поверхности стеклянных пипеток может дать колоссальные ошибки при приготовлении разведений микробной суспензии методом разведений. Второй этап адсорбции состоит в более прочном прикреплении бактерий к стеклу, что происходит с помощью капсульного вещества или другими способами. В ряде случаев после прикрепления начинается разрушение стекла бактериями. С помощью электронной микроскопии удалось показать, что некоторые слизиобразующие бактерии растворяют стекло в месте прикрепления клетки и под каждой из них образуются углубления.

Большие неприятности доставляет обрастание бактериями погруженных в промышленные ферментеры металлических электродов, которые устанавливаются для измерения рН или Eh. Достаточно хорошо исследована роль адсорбции при использовании тиабациллами твердых частиц серы. После адсорбции на поверхности кристаллов серы бактерии образуют выемки. Большую роль при этом играет выделяемое бактериями поверхностно-активное вещество — фосфатидилинозит. Отмечена прямая связь между величиной поверхности твердых углеводов, прикреплением к ним бактерий и скоростью бактериальной деструкции. Таким образом при использовании бактериями углеводов адсорбция выступает как приспособительный признак и является необходимым условием использования твердого субстрата. Аналогичное явление наблюдается при трансформации бактериями кристаллов стероидных соединений. При этом адсорбция бактерий на кристаллах наблюдается отчетливо даже в обычном световом микроскопе. В местах адсорбции быстро начинается растворение кристаллов.

Целлюлозоразлагающие микроорганизмы прикрепляются к волокнам целлюлозы и располагаются своей длинной стороной вдоль волокна. Клетки таких микроорганизмов отличаются очень большой адсорбционной способностью, прочно адсорбируются волокнами целлюлозы.

Опыты с разрушением в почве полихлорвиниловой пленки показали, что на пленке селективно адсорбируются и размножаются определенные формы микроорганизмов и именно под микроколо-

ниями этих микроорганизмов происходит наиболее сильное изменение пленки.

Активной деструкции бактериями разнообразных материалов способствует также относительно небольшая специфичность некоторых бактериальных экзоферментов. Так, щелочные протеиназы *Bac. subtilis* (субтилизины) помимо гидролиза белков способны катализировать гидролиз амидов, эфиров аминокислот и их производных, эфиры низших жирных кислот (метилбутират, этилвалерат и др.), даже некоторые триглицерины (например, трибутирин). Экзолипаза *Pseudomonas fluorescens* кроме естественных субстратов — эфиров глицерина и жирных кислот — способна также гидролизовать (хотя и с небольшой скоростью) различные синтетические эфиры карбоновых кислот: этиленгликольдиацетат, диметиладипинат, бутиловый эфир пропионовой кислоты и т. д.

Литотрофные бактерии — возбудители биоповреждений

Из литотрофных бактерий наиболее активными агентами биоповреждений являются сульфатредуцирующие, тионовые, нитрифицирующие и железобактерии. Коррозия металлов, разрушения бетона, камня, кирпича и других материалов неорганической природы, вызываемые ими, достигают колоссальных размеров. Глубокие исследования бактерий, возбуждающих коррозию металлов, с разработкой практических рекомендаций и внедрением их в производство проведены в СССР сотрудниками Института микробиологии АН УССР (Е. И. Андреюк, В. И. Билай, Э. З. Коваль, И. А. Козлова, 1980).

Сульфатредуцирующие (десульфатирующие) бактерии — основные возбудители анаэробной коррозии стали, железа и алюминия. Предполагают, что механизм вызываемой ими коррозии металлов заключается в стимуляции катодной деполяризации твердыми сульфидами железа, которые образуются в результате жизнедеятельности этих бактерий, или вследствие потребления ими поляризованного водорода.

Сульфатредуцирующие бактерии приносят большой ущерб многим отраслям промышленности, но особенно нефтедобывающей и газовой. Таким путем активно корродируют стальные хранилища нефти, топливное оборудование турбореактивных самолетов, трубопроводы и градири обратного водоснабжения. По данным японских исследователей, одной из основных причин разрушения железобетонных стен подводных тоннелей может быть активное выделение сероводорода этими микроорганизмами с дальнейшим образованием сульфида железа.

Хотя сульфатредуцирующие бактерии и облигатные анаэробы, но они не погибают от воздуха, чем объясняется их широкое распространение в природе. Они обнаруживаются в почве, пресной и морской воде, геологических отложениях серы и нефти. Очень часто они образуют ассоциации с аэробными слизеообразующими

микроорганизмами, которые, как предполагают, продуцируют питательные вещества и создают необходимые для них анаэробные условия.

При благоприятных условиях сульфатредуцирующие бактерии образуют большое количество сероводорода, который является конечным продуктом их анаэробного дыхания. В связи с этим они устойчивы к сероводороду, могут выдерживать его концентрацию до 2 г/л. Большинство этих бактерий хорошо растут при температуре 25—30°C. Для отдельных видов оптимальная температура несколько выше (37—46°C). Однако рост культур часто возможен в более широких границах — от 3—15 до 35—40°C. Известны и термофильные виды: *D. thermophilus*, *Dtm. nigrificans*. Первый вид растет при температуре от 45 до 70°C, оптимальная температура 55°C. Для второго оптимальная температура еще выше — 65°C. Есть сведения, что при высоком давлении (1000 атм) некоторые сульфатредуцирующие бактерии сохраняют способность образовывать сероводород при температуре до 104°C. Оптимальное значение pH для роста 7,0—7,5, но возможен рост в более широком интервале — от 4,2 до 10,5, хотя и не всех видов.

До недавнего времени все известные виды сульфатредуцирующих бактерий объединяли в два рода: *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*. Род *Desulfovibrio* включает неспоровые грамотрицательные бактерии с разными типами кривизны клеток (вибриоидным, сигмоидным или спириллоидным). Значительно реже встречается прямая палочковидная форма. Все виды подвижны, имеют жгутики. Представители этого рода — строгие анаэробы, растущие при температуре 25—45°C и pH 5,5—9,0 (оптимум pH 7,2). Кроме сульфатов в качестве акцептора электронов могут использовать сульфит, тиосульфит и тетратионат. Биокоррозию металлов вызывают по крайней мере 4 вида этого рода: *D. desulfuricans*, *D. vulgaris*, *D. africans*, *D. salexigenes*. Все они обитают в пресных и солоноватых водах, иногда и в соленых (*D. africans*, обладающий широкой галотолерантностью). *D. desulfuricans* характерен также для пресноводного ила, сточных вод, но выделен подвижный вид из соленых вод. *D. africans* — лофотрих (т. е. монополярный политрих), имеет пучок жгутиков на одном из полюсов клетки. Остальные три вида — монополярные монотрихи.

Виды рода *Desulfotomaculum* представляют грамотрицательные прямые или изогнутые палочки, иногда соединенные в цепочки. В отличие от предыдущего рода образуют эндоспоры. Обнаруживаются преимущественно в почве. Коррозию металлов вызывают *Dtm. nigrificans* и *Dtm. orientis*. Оба эти вида — перитрихи. Первый вид — термофил, растет при 65—79°C (оптимум 55°C), поэтому развивается в системах центрального отопления, теплообменниках, где вызывает интенсивную коррозию.

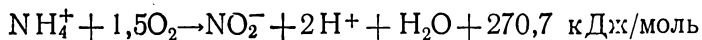
В последние годы описаны шесть новых родов сульфатредуцирующих бактерий: *Desulfomonas*, *Desulfobacter*, *Desulfobulbus*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcina*, *Desulfonema* (Е. И. Кондратьева, 1983), среди них есть палочковидные, эллипсоидные и сферической

формы. Некоторые образуют скопления в виде сарциноподобных пакетов. Представители *Desulfonema* образуют нити (трихомы), которые достигают иногда в длину 1 м, состоят из клеток ($3-8 \times 3-13$ мкм) и размножаются поперечным делением.

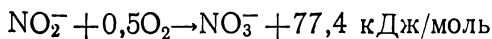
Тионовые бактерии осуществляют окисление различных восстановленных соединений серы до сульфатов. Основные представители бактерий относятся к роду *Thiobacillus*. Под влиянием тионовых бактерий корродируют металлические конструкции, каменные и бетонные сооружения, резиновые изделия (шины, шланги). Известно много восстановленных соединений серы, которые тиобациллы окисляют с получением энергии: сера (S^-), сероводород, тиосульфат ($S_2O_3^{2-}$), тритионат ($S_3O_6^{2-}$), тиоцианат (CNS^-) и др. Окисляя соединения серы, они используют в своем метаболизме выделяющуюся энергию для роста и биосинтеза. Тиобациллы представляют собой неспорообразующие палочки, грамотрицательные, небольшого размера ($0,5 \times 1-4$ мкм). Большинство видов подвижны в результате полярно расположенных жгутиков. У некоторых обнаружены пили. Размножаются бинарным делением. Ряд представителей имеет развитую систему внутриклеточных мембран.

Как правило, тиобациллы растут только в присутствии молекулярного кислорода, хотя рост некоторых штаммов возможен и при низком его содержании. Известны и факультативные анаэробы (например, *T. denitrificans*). По отношению к кислотности среды тиобациллы подразделяются на растущие при нейтральной среде и ацидофилы. Для последних оптимум pH 2,5—3,5, но рост возможен даже при pH 0,5—1,5. При нейтральной среде растут *T. thioparus*, *T. denitrificans* и др. К ацидофилам относятся *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. acidophilus* и др. Оптимальная температура для роста большинства тиобацилл 25—30°C, однако некоторые штаммы растут при 8—10°, а другие при 60—75°C.

Нитрифицирующие бактерии вызывают коррозию металлов и биоповреждения пористых строительных материалов в результате образования азотной кислоты при окислении аммиака. Процесс идет в два этапа. Первый этап осуществляют представители 5 родов: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* и *Nitrosovibrio*:



Второй этап идет при участии бактерий 3 родов: *Nitrobacter*, *Nitrospira* и *Nitrococcus*:

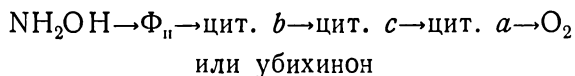


Выделяющаяся на обоих этапах окисления энергия используется клетками нитрификаторов для осуществления роста и нормальной жизнедеятельности.

Бактерии, окисляющие аммиак или нитриты до нитратов, объединяют в семейство Nitrobacteriaceae. Все они облигатные аэробы, не образуют спор, оптимальными условиями развития являются

pH 7,5—8,0 и температура 25—30°C. Широко распространены в почвах, воде озер, морей и океанов, иловых отложениях. Часто нитрифицирующие бактерии находят в сточных водах, они встречаются и в месторождениях полезных ископаемых. Обычно (но не всегда) бактерии, осуществляющие первую и вторую фазу нитрификации, выделяют из одних и тех же мест. Все автотрофные нитрифицирующие бактерии одноклеточные и относятся к грамотрицательным. Морфология отдельных видов различается, есть сферические эллипсовидные, палочковидные, извитые и дольчатые. Размеры клеток у разных видов нитрификаторов тоже отличаются: от 0,3 до 1,0 мкм в ширину при длине 1,0—6,5 мкм. Известны подвижные и неподвижные формы с полярным, субполярным и перитрихальным расположением жгутиков (М. В. Горленко и др., 1977). Размножение происходит делением, только у *Nitrobacter* почкованием. В процессе роста отдельных видов могут появляться скопления неподвижных клеток, заключенных в слизь (зооглеи).

У большинства нитрификаторов имеется развитая система внутриклеточных мембран, форма и расположение которых у разных видов отличаются. Однако чаще всего мембраны имеют вид ламелл, располагающихся по периферии (*Nitrosomonas europaea*), на полюсах (*Nitrobacter winogradskyi*) или в форме стопок в центре клеток (*Nitrosococcus oceanus*). Все нитрификаторы нуждаются для роста в кислороде, но очень высокие его концентрации для некоторых видов неблагоприятны (Е. Н. Кондратьева, 1983). Из окислителей аммония наиболее хорошо исследован *Nitrosomonas europaea*. Это грамотрицательные овальные клетки с полярно расположенными жгутиками. Органические вещества не использует, они являются для него даже токсичными. При образовании нитрита молекулярный кислород служит обязательным конечным акцептором электронов. Электронтранспортная цепь *Nitrosomonas* включает все основные типы переносчиков. Сначала аммоний с участием медьсодержащих ферментов активируется с образованием гидроксиламина, чьи электроны включаются в цепь на уровне флавопротендов:



Следовательно, в двух пунктах возможно сопряжение окисления с фосфорилированием, образование АТФ. Восстановление НАД⁺ для ассимиляции СО₂ (через цикл Кальвина) идет путем обратного транспорта электронов.

Основной возбудитель второго этапа нитрификации (окисления нитритов до нитратов) — *Nitrobacter*. Для него это единственный способ получения энергии, хотя к органическим соединениям относится более терпимо, чем *Nitrosomonas*. Особенно хорошо изучен *Nitrobacter winogradskyi*. Это мелкие, подвижные, грамотрицательные клетки овальной формы. Включение электронов с нитрита в

электронтранспортную цепь происходит на уровне цитохромов c или a_3 (их много в клетках), следовательно, есть только один пункт сопряжения.

Железобактерии. Как справедливо указывает Г. А. Заварзин (1972), понятие «железобактерии» в большей мере не таксономическое, а физиологическое и экологическое, удобное с практической точки зрения. Сюда обычно относят микроорганизмы, которые способны окислять восстановленные соединения железа и откладывать окислы железа на поверхности клеток и принадлежат к разным таксономическим единицам: нитчатые бактерии, цианобактерии, флексибактерии, микоплазмы. К литотрофам некоторые из них можно отнести лишь условно, в силу сложившейся традиции.

В настоящее время железобактерии делят на две группы. Первую составляют облигатно ацидофильные хемолитоавтотрофы. Источником энергии у них служит процесс окисления закисного железа, а единственным источником углерода — CO_2 . К этой группе относится прежде всего *Thiobacillus ferrooxidans*. Расти автотрофно, за счет энергии, получаемой при окислении Fe^{2+} , может также *Leptospirillum ferrooxidans*.

Вторую группу железобактерий составляют микроорганизмы, растущие при нейтральной или слабощелочной реакции среды, окисляющие закисное железо, но этот процесс служит у них не источником энергии для ассимиляции CO_2 , а способом детоксикации H_2O_2 , образующейся при дыхании. Следовательно, бактерии этой группы — гетеротрофы. Окисление Fe^{2+} происходит или путем непосредственной реакции с H_2O_2 , или с участием каталазы.

У одних железобактерий клетки образуют нити, окруженные чехлом из гидроксидов железа (представители родов *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Clonothrix*, *Spirothrix*, *Chloronema*). Другие — одноклеточные (виды родов *Arthrobacter*, *Leptospirillum*, *Ochrobium* и др.). Есть, наконец, очень мелкие железобактерии, не имеющие клеточной стенки (представители родов *Callionella*, *Siderococcus* и др.). Среди нитчатых и одноклеточных некоторые содержат хлорофилл (*Chloronema*, *Lyngbia*, *Synechocystis*). Для ряда железобактерий характерно накопление не только окислов железа, но и марганца (*Leptothrix*, *Caulococcus*).

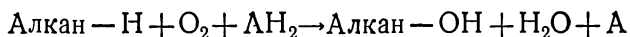
Органотрофные бактерии — возбудители биоповреждений

Так как литотрофные бактерии получают энергию за счет превращений неорганических веществ, то, естественно, они являются в основном возбудителями биоповреждения металлов, строительных и промышленных материалов неорганической природы. Органотрофы добывают себе энергию путем окисления органических веществ, поэтому среди них много агентов деградации промышленных материалов на основе органических веществ. Однако некоторые из них способствуют и коррозии металлов, образуя агрессив-

ные метаболиты (органические кислоты, аммиак, сероводород и т. д.).

Особого внимания заслуживает разложение бактериями топлив, смазочных и других материалов, получаемых на основе переработки нефти. Обычно это бывает комплексное поражение, с участием и грибов, и бактерий, но доля участия последних может быть очень большой. Объясняется это тем, что использование углеводородов (особенно с длинной углеродной цепью) среди бактерий распространено достаточно широко. В биоповреждении нефтяных дистиллятных топлив (реактивных, дизельных) и смазочных масел активно участвуют *Pseudomonas aeruginosa* и другие представители этого рода. На этане, пропане, бутане и углеводородах, содержащих до 8 атомов углерода, способны расти относительно немного видов бактерий (флавобактерии, микобактерии, *Nocardia*). Использование же алканов с 10—18 атомами идет с огромной скоростью многими бактериями (*P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. oleovorans*, из микобактерий — *Mycobacterium smegmatis*, *Nocardia petroleophila*, из актиномицетов — *Arthobacter paraffineus*, *A. simplex*, *Corynebacterium glutamicum*).

Из смазочно-охлаждающих жидкостей, применяемых в рециркуляционной системе станов холодной прокатки, выделены представители родов *Bacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Corinebacterium*, *Actinomyces* и др. *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Bac. subtilis* не способны расти на углеводородах. Электронно-микроскопические исследования показывают, что углеводороды накапливаются в клетках бактерий, способных их усваивать в значительных количествах в форме внутрицитоплазматических включений. Так как углеводороды в воде нерастворимы, поступление их в бактериальную клетку представляет сложный процесс. Имеется эффективная система их транспорта, частью которой являются гликолипиды внешней части клеточной стенки, вызывающие образование микроэмульсий углеводородов, что способствует поступлению в клетку. В большинстве случаев разложение углеводорода начинается с окисления концевой метильной группы в первичную спиртовую. У *Pseudomonas oleovorans* в этой реакции участвует три белка: рубредоксин (железосеропроteid), НАДН₂: рубредоксин-оксидоредуктаза и алкан-1-гидроксилаза. Вначале рубредоксин восстанавливается за счет НАД·Н₂. Затем окисление углеводорода катализирует монооксигеназа (гидроксилаза), которая помимо субстрата нуждается в восстановленном рубредоксине как доноре водорода. У других бактерий, окисляющих алканы, вместо рубредоксина в качестве косубстрата могут функционировать другие доноры электронов. Общее уравнение для реакций этого типа будет таким:



Первичный спирт окисляется сначала до альдегида, затем до жирной кислоты, которая распадается путем β-окисления. Иногда окис-

ление молекулы алкана идет с двух концов, образуя дикарбоновую кислоту.

В биоповреждении целлюлозы в аэробных условиях первостепенная роль принадлежит грибам. Несравненно меньшее значение в этом плане имеют аэробные целлюлозоразлагающие бактерии, физиологически и морфологически сходные с псевдомонадами, относящиеся к группе *Cellvibrio*. Они, видимо, «всеядны», целлюлозу используют в тех случаях, когда нет других источников углерода.

В анаэробных условиях целлюлозу разлагают достаточно многочисленные виды родов *Cytophaga* и *Sporocytophaga*, некоторые виды *Clostridium*, актиномицетов. Единственное, что объединяет эти далекие друг от друга бактерии,— мощный гидролитический ферментативный комплекс. Однако внеклеточная целлюлаза у многих из них не обнаружена. По-видимому, в таких случаях гидролиз клетчатки осуществляется при непосредственном контакте бактериальной клетки с ней. Именно поэтому, вероятно, веретенообразные клетки цитофагов, а также *Bacillus cellulosae-dissolvens* обычно тесно прилегают к волокнам целлюлозы.

Бактериальному разрушению подвержены и вещества, сопро-вождающие целлюлозу в древесине: гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые вещества. Расщепление в почве ксиланов и других гемицеллюлоз зависит от реакции среды: в кислых почвах преобладают грибы, а в нейтральных и щелочных — бациллы, цитофаги и некоторые другие бактерии. Катализируют расщепление фермент ксиланаза и другие гемицеллюлазы.

Активные пектолитические ферменты продуцируют *Bac. macerans*, *Bac. polymyxa*, *Clostridium pectinovorum*, *C. felsineum* (два последних вида образуют масляную кислоту). Хитин расщепляют более 50 видов бактерий, среди них виды *Achromobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Cytophaga*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*. Механизм ферментативного разложения хитина описан ниже.

Хорошим питательным субстратом для микроорганизмов являются также косметические эмульсии, которые широко применяются как у нас в стране, так и за рубежом. Это эмульсии типа вода в масле или масло в воде, в состав которых входят разнообразные органические соединения и вода. Микроорганизмы развиваются в водной и не растут или почти не растут в жировой фазе эмульсий. Поэтому наиболее благоприятные условия создаются для развития микроорганизмов в эмульсиях типа «масло — вода». Особенно поражают эмульсии бактерии, относящиеся к группе грамотрицательных палочек, среди которых наиболее опасны представители родов *Pseudomonas*, *Enterobacter* и *Achromobacter*. Большинство компонентов косметических эмульсий представляют собой сложные эфиры высокомолекулярных спиртов и жирных кислот. Воздействие микроорганизмов на такие субстраты начинается с их гидролиза под влиянием внеклеточных эстераз. Однако наличие эстеразной активности не единственное условие для роста бакте-

рий на таких средах. Необходимо, чтобы бактерии включали образовавшиеся в результате гидролиза соединения в процессы метаболизма.

Материалы, содержащие ароматические соединения, бактерий разрушают прежде всего своими окислительными ферментами. Так, у родококков основными ферментами, расщепляющими ароматическое кольцо, являются пирокатехаза, протокатехат-3,4-диоксигеназа и метапирокатехаза. Колонии *D. desulfuricans*, обнаруженные на коже, не только ухудшали ее внешний вид, но и вызывали порчу, нарушая структуру. Ряд почвенных бактерий участвует в деструкции вулканизированного натурального каучука. Интенсивность деструкции зависит от концентрации сажи в нем. Подвержены бактериальному повреждению и синтетические органические материалы. Так, волокна на основе поливинилового спирта (ПВС) и также на основе ПВС и полиэтиленimina (ПЭИ) могут разрушаться бактериями активных илов и чистыми культурами *Bacillus mesentericus*, *B. subtilis*, *B. mycoides*, *B. megatherium*, *Bacterium herbicola*, *Pseudomonas herbicola*, *Ps. fluorescens*. Перечисленные бактерии используют синтетические волокна в качестве источника питания и энергии. Термообработанные волокна более стойки к микробиологическому воздействию, чем свежесформованные.

Представители рода *Arthrobacter*, относящегося к коринеподобным бактериям, обладая активными гидролазами, участвуют в расщеплении пластмасс.

Термофильные штаммы *Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *B. mesentericum* и *B. mycoides* наряду с грибами ухудшают качество некоторых акрилонитриловых волокон.

Способность бактерий разрушать разнообразные органические соединения связана с присутствием у многих из них плазмид — внехромосомных элементов наследственности. Если основной генетический материал бактериальной клетки — хромосома — содержит информацию для выживания клетки в любых условиях окружающей среды, то плазмиды несут гены, отражающие особенности этой среды, в частности присутствие в ней необычных органических соединений. В этих случаях гены плазмид кодируют синтез ферментов, способных разрушать то или иное органическое вещество. Особенно характерны плазмиды деградации для псевдомонад.

Заслуживает внимания участие органотрофов в коррозии металлов, биодеструкции камня, бетона. Роль органотрофных бактерий при этом заключается в основном в продуцировании агрессивных метаболитов: органических кислот, сероводорода, аммиака, CO_2 , H_2O_2 и т. д. Так, коррозия стали на свеклосахарном производстве происходит при участии молочно-кислых бактерий. Известны случаи коррозионного разрушения меди под влиянием аммиака, продуцируемого *Flavobacterium hydrophilum*. Представители рода *Pseudomonas* способствуют коррозии малоуглеродистой стали и алюминия.

ГРИБЫ

Грибы представляют большую и своеобразную группу одноклеточных и многоклеточных организмов. Общее число видов, описанных к настоящему времени, оценивается разными авторами от 100 000 до 250 000. Они широко распространены в природе во всех районах земного шара. Грибы в изобилии встречаются на различных растительных субстратах, реже на субстратах животного происхождения, и принимают активное участие в разложении органических остатков и в почвообразовательном процессе.

Многочисленная группа грибов приносит большой экономический ущерб, повреждая различные промышленные материалы.

В отличие от бактерий грибы относят к эукариотным организмам. Эукариоты характеризуются наличием ядерной мембраны, аппаратом Гольджи, сильно развитой системой внутренних мембран, органеллами, ограниченными мембранами (митохондрии, лизосомы).

Систематическое положение грибов в настоящее время является спорным. Начиная с Линнея, их относили к растительному царству, выделяя вместе с водорослями в группу низших (споровых) растений. Действительно, некоторые признаки грибов придают им черты сходства с растениями: полярность клетки, неограниченный верхушечный (апикальный) рост, хорошо выраженная клеточная стенка, вакуоли, отсутствие подвижности в вегетативном состоянии. Наряду с этим у грибов есть ряд признаков, сближающих их с животными. Это — гетеротрофный тип питания, потребность в витаминах, образование и накопление мочевины в процессе азотного обмена, синтез гликогена в качестве запасного питательного вещества, наличие хитина (у большинства грибов) и др.

Вместе с тем грибам присущи особые признаки, отличающие их от растений и животных: мицелиальное строение вегетативного тела, обеспечивающее им осмотрофный способ питания; своеобразные и сложные ядерные циклы, гетеро- и дикариоз. Сочетания таких признаков не наблюдается больше ни в какой другой группе организмов. В связи с этим в настоящее время все больше утверждается взгляд на грибы как на самостоятельное царство *Mycota*. Правомочность такого выделения косвенно подтверждается данными палеонтологии и биохимии, свидетельствующими о существовании грибов задолго до того, как произошло разделение растений и грибов на самостоятельные эволюционные линии.

Классификация грибов

По наиболее распространенной классификации в царство *Mycota* включают следующие классы: хитридиомицеты — *Chytridiomycetes*, гифохитриомиицеты — *Hyphochytriomycetes*, оомицеты — *Oomycetes*, зигомицеты — *Zygomycetes*, аскомицеты — *Ascomycetes*, базидиомицеты — *Basidiomycetes*, дейтеромицеты, или несовершенные грибы, — *Deuteromycetes*.

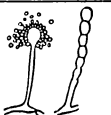
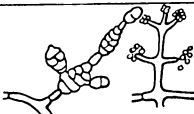
Классы	Мицелий	Спороношение	
		бесполое	половое
<i>Zygomycetes</i>			
<i>Ascomycetes</i>			
<i>Basidiomycetes</i>		встречается редко	
<i>Deuteromycetes</i>			нет

Рис. 10. Дифференцирующие признаки классов грибов

В основу данной классификации положено строение органов размножения, характер жгутиковой стадии, химический состав клетки и ряд других признаков. В процессах биоповреждения материалов участвуют представители *Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*, *Deuteromycetes*, дифференцирующие признаки которых показаны на рис. 10.

Класс зигомицеты — *Zygomycetes* насчитывает более 500 видов. Основная особенность зигомицетов — своеобразный половой процесс — зигогамия, при котором сливается содержимое кончиков гиф двух разнокачественных («+» и «—») мицелиев. На месте слияния развивается толстостенная покоящаяся зигоспора. При прорастании ее образуется гифа со спорангием на конце, в котором в большом количестве формируются споры бесполого размножения (рис. 11).

Мицелий зигомицетов неклоточный многоядерный. Разрастаясь, он образует пушистые налеты белого и серого цвета.

Зигомицеты хорошо растут на субстратах, богатых органическими веществами. У них имеются высокоактивные ферменты. Некоторые виды (*Rhizopus stolonifer*, *Rh. oryzae*, *Rh. nodosus*) известны как сильные кислотообразователи. Есть виды, энергично расщепляющие пектиновые вещества (*Mucor hiemalis*). На поврежденных материалах зигомицеты встречаются не часто. Как правило, они растут на деревянных изделиях, картоне, бумаге, тканях (*Mucor racemosus*, *M. hiemalis*, *Mortierella lignicola*, *M. vinacea*). Известны отдельные случаи повреждения ими пластмасс и фресковой живописи (*Rh. nigricans*, *M. racemosus*).

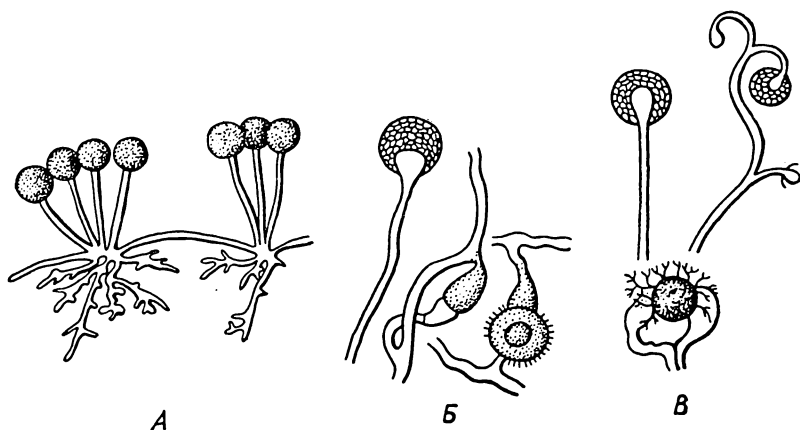


Рис. 11. Спорангии представителей разных родов зигомикетов:

A — Rhizopus; Б — Zygorhynchus; В — Phycomyces

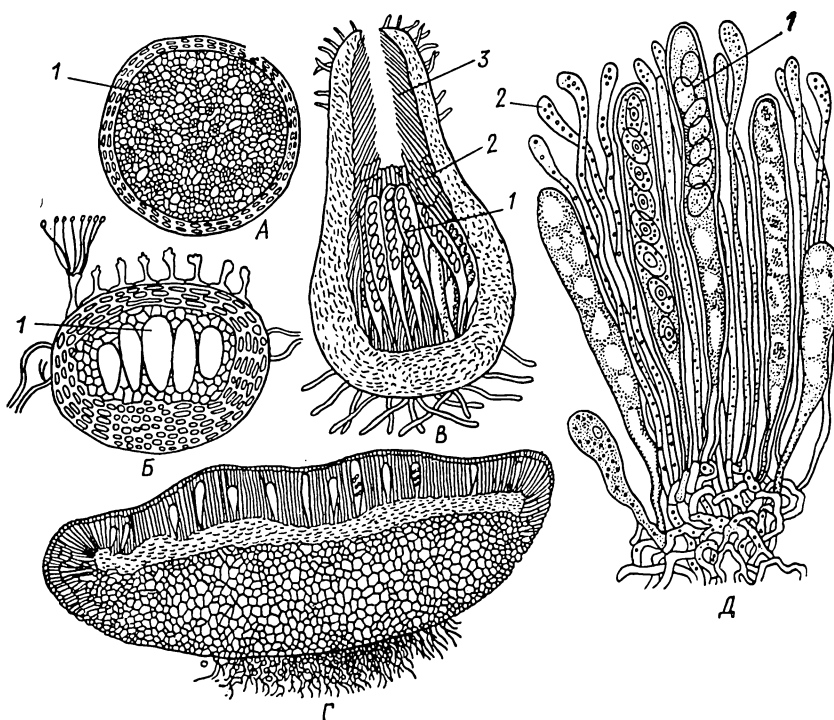


Рис. 12. Типы плодовых тел аскомикетов:

А, Б — клейстотеции; В — перитеций; Г, Д — апотеций: 1 — сумки, 2 — парафизы, 3 — парафизы

Класс аскомицеты, или сумчатые грибы,— Ascomycetes — самый большой, включающий около 30 000 видов. Для аскомицетов характерно образование в результате полового процесса сумок, или асков, содержащих, как правило, восемь аскоспор. У низших сумчатых грибов аски формируются на мицелии, у высших — в плодовых телах (клеистотециях, псевдотециях, перитециях, апотециях, рис. 12).

В цикле развития аскомицетов большую роль играет бесполое размножение. Споры бесполого размножения (конидии) образуются на выростах мицелия — конидиеносцах (рис. 13). Конидиеносцы иногда растут одиночно, иногда соединяются в коремии, спородохии, в некоторых случаях развиваются на ложах или в пикнидах. У одних конидиальное спороношение неизвестно, у других, наоборот, преобладает в цикле развития. Отдельные грибы редко образуют сумчатую стадию. Часто бывает ее трудно обнаружить в природе и получить при искусственном культивировании гриба. Такие аскомицеты обычно встречаются в конидиальной стадии.

Сумчатая и конидиальная стадии одного и того же гриба имеют самостоятельные названия, причем нередко название конидиальной стадии более распространено, чем сумчатой. Примером может служить гриб *Amorphotheca resinae* Parbery, более известный как *Cladosporium resinae*, или *Emericella nidulans*, обычно называемая *Aspergillus nidulans*. Международный кодекс ботанической номенклатуры наряду с основным названием аскомицета (по его сумчатой стадии) разрешает употреблять название конидиальной стадии, когда имеется в виду именно несовершенная стадия.

Аскомицеты очень распространены в природе. Некоторые виды встречаются в морях и пресных водоемах на погруженной в воду древесине. Другие — вызывают плесневение разнообразных материалов и изделий, а также пищевых продуктов в условиях хранения и эксплуатации. Чаще всего с поврежденных поверхностей выделяются аскомицеты родов *Chaetomium* (*Ch. globosum*, *Ch. olivaceum*), *Amorphotheca* (*A. resinae*), *Eurotium* (*E. amstelodami*, *E. herbariorum*). Они повреждают главным образом целлюлозосодержащие материалы и нефтепродукты, но встречаются и на других субстратах.

Класс базидиомицеты — Basidiomycetes объединяет около 30 тыс. видов наиболее высокоорганизованных грибов.

Характерной особенностью грибов этого класса является образование в результате полового процесса базидиоспор, сидящих экзогенно на особых выростах — базидиях. Из базидиоспор вырастает первичный гаплоидный мицелий, который существует непродолжительное время. Две клетки одного и того же или разных мицелиев сливаются, их ядра объединяются в пары — дикарионы, которые затем синхронно делятся, но при этом не сливаются.

Мицелий, содержащий ядра — дикарионы, может существовать длительное время, например у трутовиков — несколько лет. Дикариотичный мицелий большинства базидиомицетов имеет пряжки.

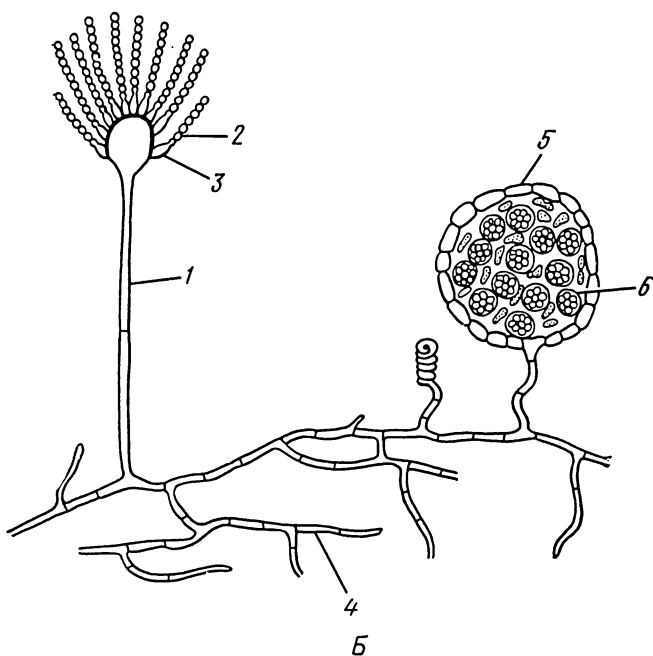
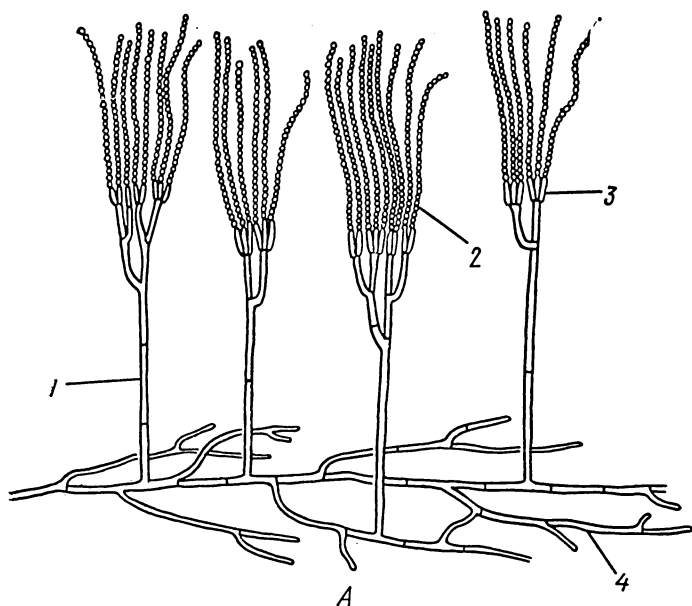


Рис. 13. Мицелий с конидиеносцем и цепочкой конидий:

А — *Penicillium* sp; Б — *Aspergillus herbariorum*: 1 — конидиеносец; 2 — конидия, 3 — фиалида, 4 — мицелий; 5 — клейстотеций, 6 — аск

В определенный период на концах дикариотических гиф образуются базидии, в них дикарионы сливаются и претерпевают редукционное деление. На базидии формируются базидиоспоры. У большинства грибов базидии располагаются на поверхности или внутри плодовых тел, которые разнообразны по форме, величине, окраске, консистенции (рис. 14).

Конидиальное бесполое спороношение у базидиомицетов встречается редко.

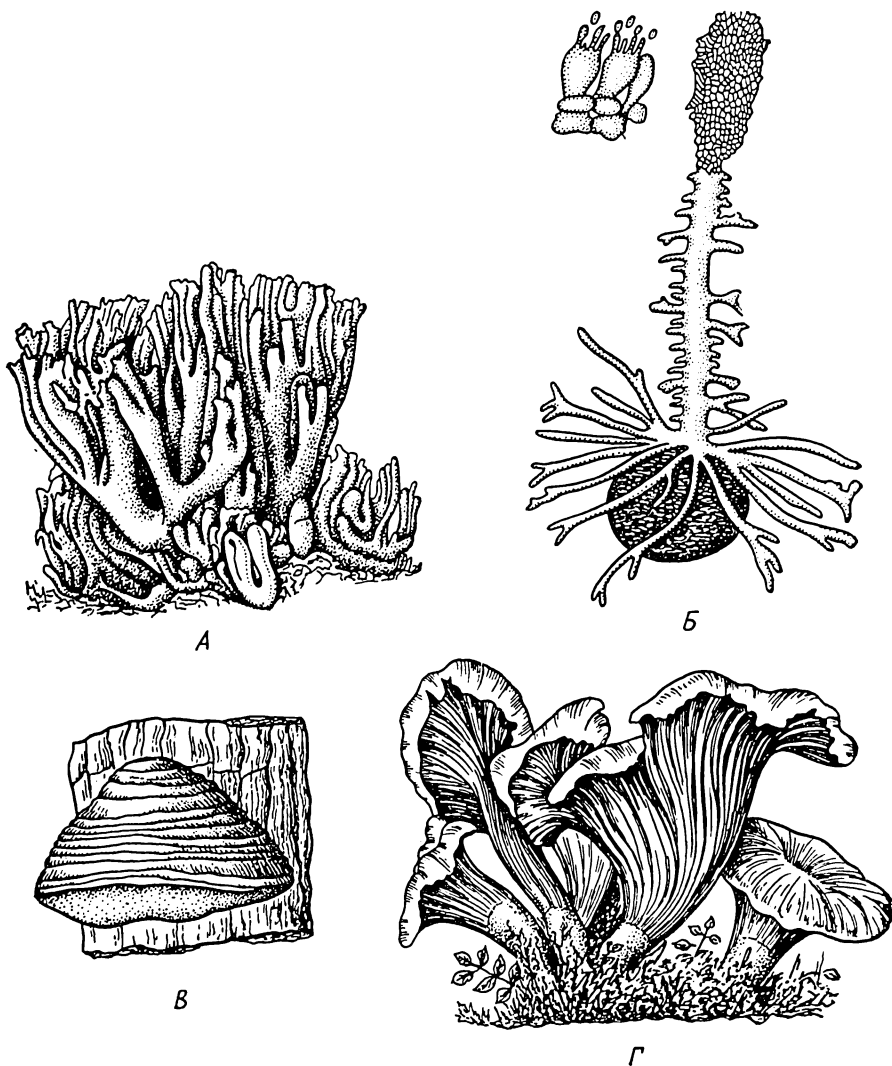


Рис. 14. Плодовые тела базидиомицетов:

A — *Ramaria flava*; *Б* — *Typhula* (проросший склероций во время образования базидий); *В* — трутовик настоящий — *Fomes fomentarius*; *Г* — лисичка желтая — *Cantharellus cibarius*

Среди базидиомицетов известно свыше 10 видов, участвующих в повреждении деловой древесины. Они встречаются на мостах, заборах, столбах, в оранжереях, парниках, погребках и других деревянных постройках.

Наиболее распространены биодеструкторами древесины являются *Coniophora puteana* и *Serpula lacrymans* из семейства Coniophogasea. Плодовые тела их распростерты в виде темно-коричневых или буро-ржавых лепешек. *S. lacrymans* известен под названием домовый гриб, или «плачущий», так как на поверхности его плодового тела образуются капли жидкости (экссудат). Этот гриб, потребляющий целлюлозу клеток древесины, повсеместно вызывает разрушение деревянных конструкций. Мицелий его в виде шнуров или пленок быстро распространяется в древесине и на ее поверхности.

Активное разрушение древесины вызывают также трутовиковые грибы (сем. Polypogasea).

В зависимости от комплекса ферментов, выделяемых базидиомицетами, различают целлюлозоразрушающие и лигнинразрушающие грибы. Благодаря неодинаковому воздействию на древесину эти грибы вызывают различные типы гнили. Грибы, разрушающие целлюлозу и способствующие освобождению лигнина,— возбудители бурой деструктивной гнили. Под воздействием этих грибов (*Amyloporia xantha*, *Coriolus vaporarius*) древесина становится хрупкой, крошащейся на мелкие куски темного цвета.

Лигнинразрушающие грибы вызывают белую гниль, в результате чего древесина становится мягкой, волокнистой, расслаивается по годичным кольцам.

Некоторые базидиомицеты способны вызывать пеструю гниль путем воздействия на целлюлозный и лигниновый комплекс древесины (*Fomitopsis annosa*).

Класс дейтеромицеты, или Несовершенные грибы,— *Deuteromycetes*, или *Fungi imperfecti*,— один из крупнейших классов грибов, включающий 30% всех известных видов. Он объединяет организмы, которые размножаются только бесполом путем (конидиями). У некоторых дейтеромицетов половой процесс не обнаружен, возможно, он полностью утерян в процессе эволюции. Жизненный цикл их проходит только в конидиальной стадии. Другие представители этого класса являются лишь стадией развития аскомицетов и реже базидиомицетов. Примером могут служить многие аспергиллы, пенициллы, фузариумы, у которых обнаружены сумчатые стадии. Вместе с тем для большинства дейтеромицетов связь с совершенными стадиями не установлена.

Многие микологи считают дейтеромицеты новой эволюционной ветвью высших грибов. Эволюция ее идет в направлении утраты половых спороношений, совершенствовании механизмов, заменяющих половой процесс,— гетерокариозиса и парасексуального процесса, увеличении роли бесполого размножения.

Конидии дейтеромицетов чрезвычайно разнообразны по морфологии: они бывают одноклеточными, с перегородками, округлой,

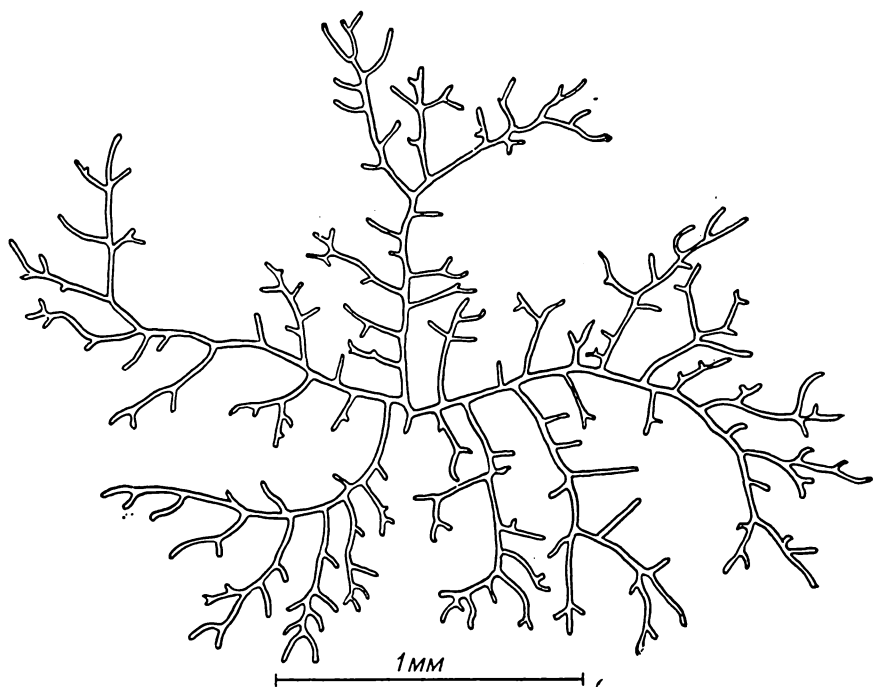


Рис. 16. Неклеточный мицелий *Phycomyces blakesleeenanus*

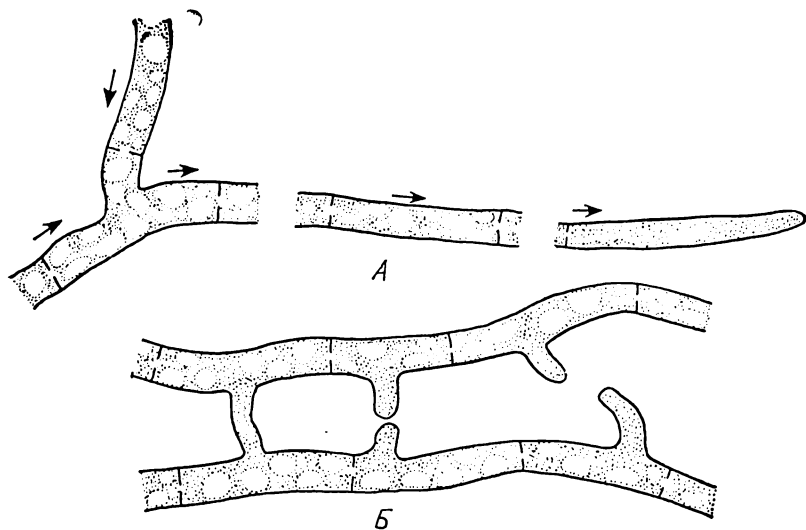


Рис. 17. Септированный мицелий:

А — протоплазма движется по направлению к кончику гифы; **Б** — анастомоз между соседними гифами

диомицеты и дейтеромицеты) мицелий состоит из септированных гиф (рис. 17).

Формирование *септы* происходит от стенки гифы к центру, центрипетально. В средней части септа не срывается, образуя пору, через которую происходит передвижение питательных веществ и оргanel по мицелиальным клеткам.

Рост каждой гифы всегда апикальный, в результате чего гифы растут только в длину, причем рост практически не ограничен. Скорость роста обычно колеблется от 0,1 до 6 мм/ч. Она зависит от скорости поступления питательных веществ к апексу.

Верхушечная часть гифы характеризуется наиболее активно протекающими биохимическими процессами. В ней присутствует много РНК и аргинин-тирозин-гистидинсодержащих белков с SH-группами.

Мицелий начинает свое развитие из спор, прорастающих при определенной температуре и влажности. Сначала спора набухает, поглощая влагу из окружающей среды, затем оболочка ее разрывается и появляется одна или несколько ростовых трубок, являющихся началом нового мицелия. Первое время развитие гиф идет за счет запасных веществ споры, а в дальнейшем — путем адсорбции питательных веществ из субстрата.

В зависимости от характера роста различают субстратный и воздушный мицелий. В первом случае мицелий располагается на поверхности субстрата или пронизывает его вглубь. Иногда он свободно поднимается над субстратом, соприкасаясь с ним только в отдельных точках. Это воздушный мицелий. На нем обычно образуются органы размножения.

В первом случае повреждение материала имеет вид концентрического прижатого к субстрату образования; во втором — напоминает вату. Характер роста одного и того же гриба на субстрате может меняться в зависимости от условий среды (состав питательных веществ, влажность и пр.). Однако для некоторых видов этот признак постоянен. Например, образование пышного воздушного мицелия очень типично для многих грибов — разрушителей древесины.

Воздушный и субстратный мицелий различаются по химическому составу и биохимической активности. Гифы, погруженные в субстрат, содержат больше резервных питательных веществ (гликоген, белки, жиры), чем воздушные. В субстратном мицелии выше активность β -галактозидазы, тогда как в воздушном — сукцинатдегидрогеназы. Воздушные гифы некоторых видов аспергиллов более чувствительны к пониженному содержанию кислорода, чем субстратный мицелий.

У некоторых грибов мицелий имеет характерные особенности. Например, у многих базидиальных гифы имеют небольшие плоские клетки, лежащие против поперечной перегородки — пряжки. Они развиваются только на диплоидном мицелии и служат для передачи ядра из одной клетки в другую. Как правило, образуется одна пряжка (рис. 18, А), но бывают случаи, когда они развиваются целой мутовкой (до 10 шт.), как, например, у распространенного

разрушителя древесины — *Coniophora cerebella* (рис. 18, Б). В некоторых случаях наблюдается прорастание пряжек боковыми ветвями (*Serpula* и некоторые другие).

При неблагоприятных условиях окружающей среды обычно появляются видоизменения мицелия: пленки, тяжи, ризоморфы, склеротии.

В условиях плохой аэрации на жидких питательных средах, иногда на поверхности субстрата или в трещинах древесины грибы образуют *пленки*, состоящие из гиф, расположенных в разных направлениях. Внешне они напоминают замшу толщиной в несколько

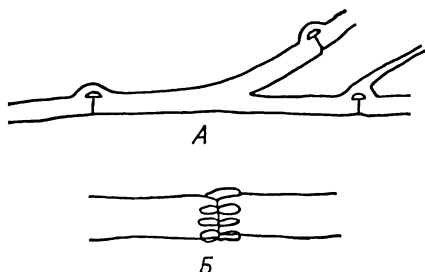


Рис. 18. Пряжки у *Serpula* (А) и *Coniophora* (Б)

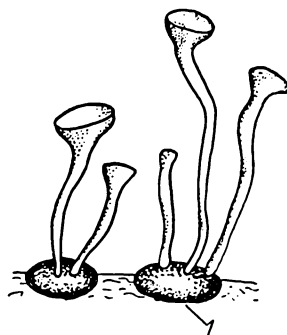


Рис. 19. Склеротии *Sclerotinia sclerotiorum*, проросшие апотецием (1)

миллиметров. В дальнейшем от этой мицелиальной пленки отходят тяжи или простой мицелий, а иногда на ней развиваются плодовые тела.

Образование мицелиальных *тяжей* наблюдается у представителей высших грибов. Различают простые и функционально дифференцированные тяжи. Простые — состоят из небольшого количества однородных гиф. Они располагаются параллельно и плотно прилегают друг к другу. Гифы либо склеены ослизненными наружными оболочками, либо скреплены с помощью анастомозов. Простые тяжи можно увидеть только в микроскоп.

У некоторых грибов образуются тяжи более сложного строения, в котором имеет место функциональная дифференцировка гиф. Она явилась результатом приспособления их к выполнению определенных функций. Так, у домового гриба *Serpula lacrymas* тяжи состоят из трех типов гиф: 1) обыкновенных вегетативных, 2) с утолщенными стенками и узким просветом, придающих тяжам механическую прочность, 3) сосудистых с широким просветом и неравномерно утолщенными стенками. Сосудистые гифы служат для продвижения питательных веществ, т. е. выполняют проводящую функцию. Благодаря таким тяжам гриб может использовать субстраты, находящиеся на значительных расстояниях.

Хорошо развитые и дифференцированные мицелиальные тяжи называют *ризоморфами*, внешне они сходны с корнями высших растений.

Склероции — другой тип видоизменения мицелия (рис. 19). Это образования плотной консистенции, часто темноокрашенного цвета. Они служат для перенесения неблагоприятных условий. Клетки склероций богаты запасными питательными веществами и бедны водой. Они могут длительное время пребывать в стадии покоя. Так же, как тяжи, склероции имеют некоторую дифференцировку гиф. Наружные слои склероций (кора) образованы толстостенными гифами. Внутренняя часть состоит из тонкостенных светлоокрашенных клеток. Склероции распространены среди всех групп высших грибов.

У некоторых мукоровых грибов можно обнаружить образование дугообразных воздушных гиф — *столоны*. С их помощью гриб быстро распространяется по субстрату. Прикрепление столонов происходит при помощи ризоидов, которые развиваются как реакция на соприкосновение с любым твердым субстратом, например со стеклом (рис. 20).

Строение грибной клетки. Клетки большинства грибов покрыты жесткой оболочкой. Она состоит из *клеточной стенки* и различных внеклеточных выделений. Клеточная стенка — основной структур-

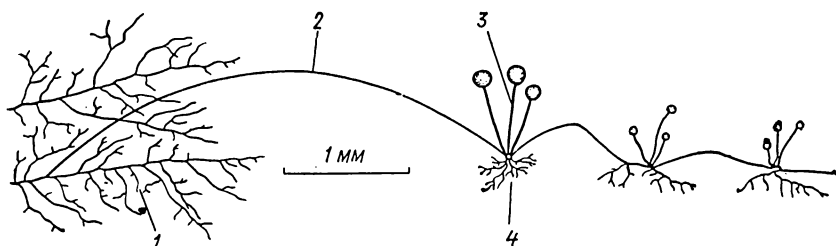


Рис. 20. Мукоровый гриб *Rhizopus stolonifer*:

1 — мицелий; 2 — стolon, 3 — конидиеносец; 4 — ризоиды

ный компонент оболочки. Она окружает протопласт и придает клетке устойчивую и характерную для нее форму. Кроме того, клеточная стенка механически защищает клетку от осмотического лизиса вследствие небольшой разности осмотического давления по обе стороны цитоплазматической мембраны.

Обычно клеточная стенка имеет толщину около 0,2 мкм. Она составляет от 10 до 50% сухой массы организма. Количество материала клеточной стенки в течение жизненного цикла грибов меняется, как правило, с возрастом оно увеличивается.

Стенки клеток большинства исследованных мицелиальных грибов имеют фибриллярное строение. Микрофибриллы диаметром 15—25 мкм образуют хитин или целлюлозу. Они цементируются между собой аморфным веществом, состоящим из белков, липидов и безазотистых полисахаридов.

Клеточная стенка представляет собой полимерную структуру. Химический состав углеводов клеточной стенки имеет таксономическое значение. Для большинства грибов (хитридиомикеты, аскомицеты, базидиомикеты, дейтеромицеты) характерно присутствие хитина и глюканов. Отличительной чертой зигомикетов являются наличие хитозана и отсутствие глюканов. В клеточных стенках *Oomycetes* обнаружены целлюлоза и глюканы.

В наружных слоях клеточной стенки у некоторых грибов локализируются пигменты меланиновой природы. Они составляют 2—3% от сухой массы клетки. В настоящее время присутствием меланина объясняется высокая резистентность темноокрашенных грибов к экстремальным условиям освещенности и дефициту влаги.

Мембранные структуры и цитоплазматический матрикс. С внутренней стороны к клеточной стенке примыкает цитоплазматическая мембрана (плазмалемма), окружающая внутреннюю часть клетки (протопласт). В электронном микроскопе плазмалемма выглядит как трехслойная структура толщиной около 8 нм¹. Она служит осмотическим барьером организма, контролирует избирательное поступление веществ в клетку. На плазмалемме располагаются такие ферменты, как инвертаза, кислые фосфатазы, аденозинтрифосфатазы, окислительно-восстановительные, трансферазы.

Внутреннее содержимое клетки можно разделить на мембранные структуры и цитоплазматический матрикс. Жидкая среда матрикса (цитоплазма) представляет коллоидный раствор. В его состав входят ферментные белки, аминокислоты, углеводы, нуклеиновые кислоты, гранулы запасных веществ.

В цитоплазматическом матриксе грибов содержится сильно развитая система внутренних мембран, характерная для эукариотических клеток. Пристенная цитоплазматическая мембрана и внутренняя система мембран составляют единое целое. Из них наиболее сложной по своей топологии является *эндоплазматический ретикулум* — сложная сеть взаимосвязанных канальцев. Эти мембраны делят цитоплазму на отсеки и часто бывают соединены с некоторыми цитоплазматическими органеллами. Элементы эндоплазматического ретикула окружают ядро, образуя ядерную мембрану. Некоторые участки эндоплазматической сети с внутренней стороны усеяны рибосомами. Это так называемый шероховатый эндоплазматический ретикулум. Белки, синтезируемые на этих рибосомах, переносятся по каналам в другие участки клетки.

К мембранным структурам эукариотной клетки относится *аппарат Гольджи*. Он морфологически связан с ядерной мембраной, мембранами эндоплазматического ретикула и играет полифункциональную роль. Известно, что аппарат Гольджи участвует в синтезе новых мембран и клеточной стенки, играет ключевую роль в транспорте веществ, синтезированных в клетке, выводит их наружу с помощью процесса, называемого экзоцитозом.

¹ 1 нм = 10⁻³ мкм = 10⁻⁷ см.

Производными аппарата Гольджи являются окруженные мембранами пузырьки — *лизосомы*. Они содержат гидролитические ферменты, способные расщеплять биологические макромолекулы всех типов. Лизосомы выполняют различные функции, в том числе расщепляют шлаки, подлежащие удалению из клетки.

В цитоплазматическом матриксе всех грибов содержатся *митохондрии*, окруженные двойными мембранами, причем внутренняя мембрана образует впячивание — кристы. Разные группы грибов отличаются строением крист. Митохондрии ответственны за дыхание организма. Их функция заключается в освобождении энергии путем окисления субстратов и накопления этой энергии в форме АТФ. В матриксе митохондрий локализованы ферменты цикла трикарбоновых кислот, на внутренних мембранах — ферменты дыхательной цепи.

Митохондрии — саморепродуцирующиеся структуры клетки, имеющие собственную ДНК. Митохондрии грибов сходны с таковы-

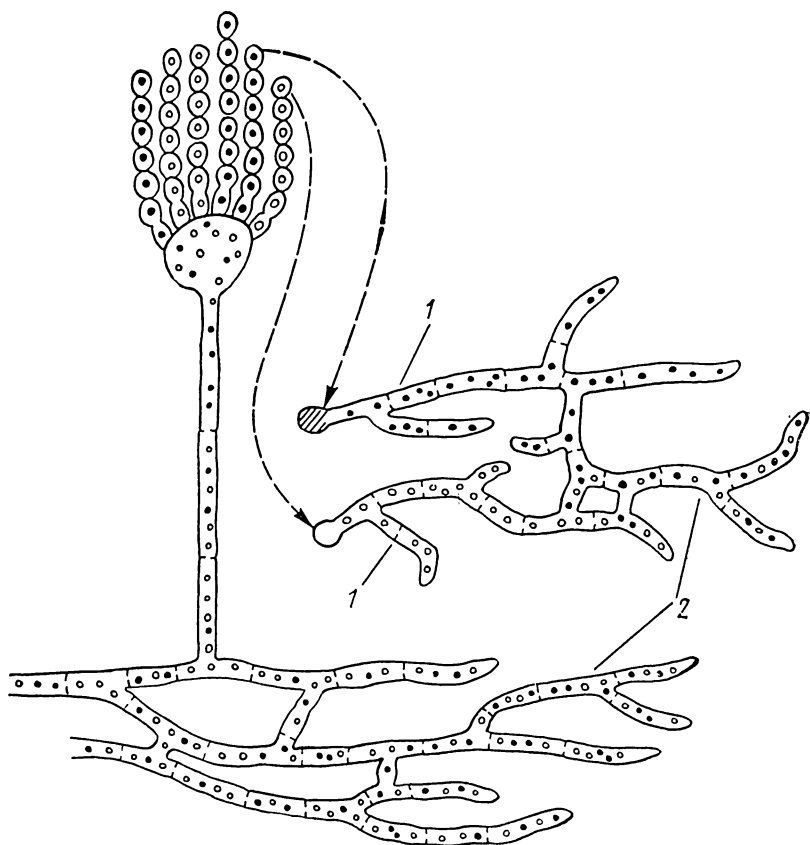


Рис. 21. Гетерокариотичный мицелий *Aspergillus* с двумя генетически различными типами ядер:

1 — монокариотный мицелий, 2 — гетерокариотический мицелий

ми растений, различаясь лишь размерами и отдельными деталями строения.

Для грибной клетки характерно присутствие своеобразных структур — *ломасом*, функции которых пока не вполне ясны, хотя они обнаружены у грибов всех классов. Ломасомы локализируются между клеточной стенкой и плазматической мембраной.

В цитоплазме клеток помимо описанных органелл часто содержатся *гранулы* гликогена, жира, волютина — запасные вещества клетки.

Ядро — основная клеточная структура организма. В клетках грибов находится от 1 до 30 ядер. Они окружены двойной мембраной, содержат ядрышко и хромосомы. Электронные микрофотографии показывают, что в ядерной оболочке имеются различной величины поры. Через них осуществляется перенос макромолекул в цитоплазму. Размеры ядер в репродуктивных органах крупнее, чем в вегетативных клетках. Как правило, размер ядер от 2 до 3 мкм.

В вегетативном мицелии в процессе роста и деления клеток имеет место в основном митотическое деление ядра, а при репродукции (образование гамет и прорастание зиготы) происходит мейоз.

Гетерокариоз. Для многих грибов из разных классов известно явление гетерокариоза — наличие у одного индивидуума в гифах генетически различных ядер (рис. 21). Подобное явление может произойти в результате образования анастомозов между вегетативными гифами, содержащими ядра с разной генетической информацией; в результате мутаций в отдельных ядрах многоядерных гомокариотических структур; при прорастании гетерокариотической споры, а также как естественный результат обмена генетическим материалом при слиянии ядер и образовании диплоидов.

Присутствие ядер того или иного типа в гетерокариотичном мицелии обеспечивает высокую адаптационную способность гриба к изменяющимся условиям среды. Так, у некоторых фузариумов и пенициллов установлена зависимость числа ядер разного типа от условий развития.

Способы размножения грибов

Грибы размножаются вегетативным, бесполом и половым путями.

Вегетативное размножение происходит без образования специализированных органов — любая часть мицелия дает начало новому организму. Вегетативное размножение применяют при поддержании культуры на искусственных питательных средах.

Одной из форм вегетативного размножения является образование хламидоспор — клеток, покрытых толстой оболочкой и способных переносить длительные периоды голодания, высыхания и другие неблагоприятные условия среды.

Вегетативным размножением является также почкование клеток и фрагментация гиф на цилиндрические или овальные клетки — оидии, образованию которых предшествует появление частых перего-

родок в гифах. В благоприятных условиях оидии прорастают в новый мицелий.

Бесполое размножение грибов происходит при помощи особых спор, появлению которых не предшествует предварительное слияние клеток и объединение ядер. У одних грибов споры развиваются эндогенно в специальных вместилищах, спорангиях, и называются спорангиоспорами. У других — споры формируются экзогенно на специализированных гифах мицелия, конидиеносцах, и называются конидиями. Для зигомицетов характерно бесполое размножение при помощи спорангиоспор; для аскомицетов, базидиомицетов, дейтеромицетов и некоторых низших грибов — при помощи конидий.

В отличие от спорангиоспор и спорангиеносцев конидии и конидиеносцы разнообразны по строению. Конидиеносцы различаются по типу ветвления (мутовчатое, моноподиальное, дихотомическое, симподиальное), имеют различные вздутия, стеригмы, фиалиды. Конидиеносцы многих грибов бывают объединены в коремии, ложа, и пикниды.

Коремии представляют собой пучок тесно сближенных конидиеносцев (рис. 22). Подобные образования характерны для некоторых пенициллов. У дейтеромицетов конидиеносцы часто располагаются тесным слоем на специальной поверхности, состоящей из плоского сплетения гиф, образуя *ложе*. Наиболее сложной формой агрегации конидиеносцев являются полузамкнутые структуры — *пикниды*. Они содержат большое количество конидиеносцев, хорошо защищенных оболочкой.

Конидии грибов так же, как конидиеносцы, очень разнообразны по своему строению. Они бывают одноклеточные и с перегородками; различаются по форме (шаровидные, эллипсовидные, звездчатые, спирально закрученные и др.) и цвету (темные, буровато-коричневые, светлые).

Грибы образуют очень большое количество спор бесполого размножения. Известно, например, что трутовый гриб *Ganoderma applanatum* в течение 6 месяцев способен ежедневно высвободить до 30×10^6 спор; а колония пеницилла диаметром 2,5 см может образовать 400×10^6 конидий. Распространение спор грибов, вызывающих повреждения материалов, обычно происходит при помощи ветра, дождя, насекомых, животных и человека.

Половое размножение установлено для всех групп грибов, кроме дейтеромицетов, у которых половые стадии отсутствуют. Оно происходит при помощи специальных спор. Образованию их обязательно предшествует слияние клеток, часто специализированных, и последующее объединение ядер.

Половой процесс состоит из трех стадий: плазмогамии, кариогамии и мейоза. В первую фазу происходит объединение протоплазменного содержимого двух клеток. Во вторую — слияние ядер и образование диплоидного ядра с двойным набором хромосом. Третья стадия характеризуется редукционным делением ядра с восстановлением гаплоидного набора хромосом. Конечным результатом полового воспроизведения у всех грибов является образование спе-

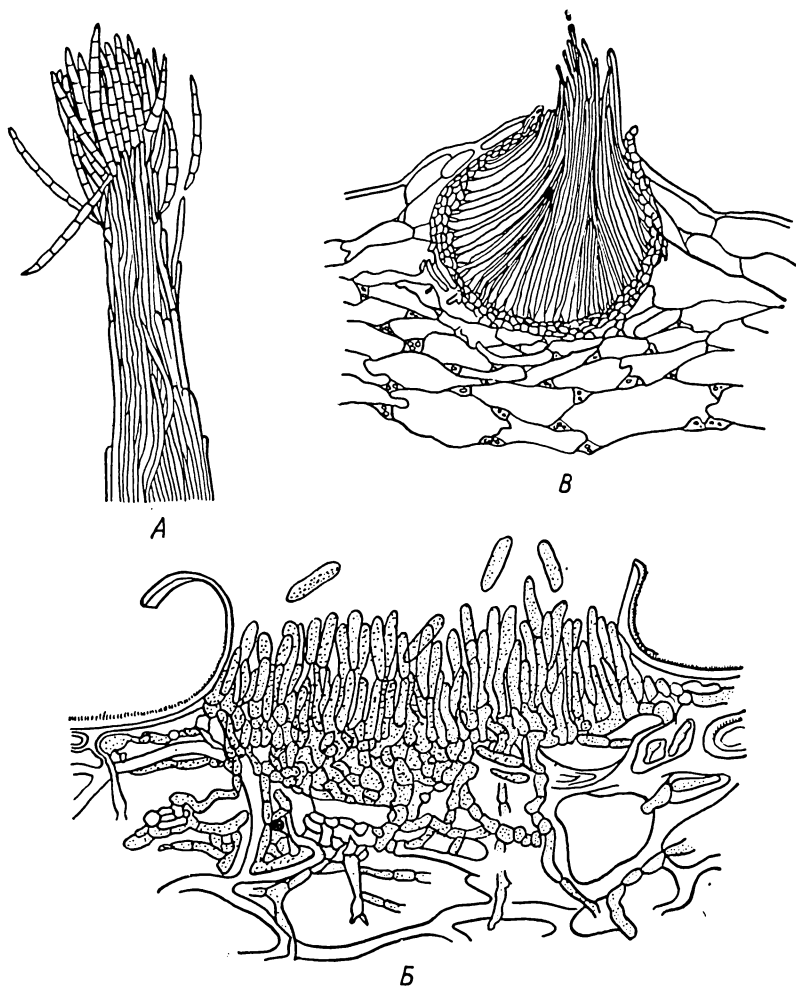


Рис. 22. Конидиеносцы грибов:

А — коремия *Sphaerostilbe*; Б — ложе *Gloeosporium*; В — пикнида *Septoria*

циальных спор, служащих для размножения. У низших грибов это споры зародышевого спорангия, у высших — аскоспоры и базидиоспоры.

Споры, возникшие половым путем, обеспечивают главным образом сохранение вида в течение периода, неблагоприятного для вегетации, а также способствуют генетическому разнообразию популяции. Споры бесполого размножения служат для быстрой колонизации субстрата. Заражение промышленных материалов происходит в основном с помощью спор бесполого размножения.

Парасексуальный процесс. Некоторые грибы не имеют истинного полового процесса. Обмен генетической информацией у них проис-

ходит в результате парасексуального цикла. Он обнаружен у многих дейтеромицетов и базидиомицетов главным образом в лабораторных условиях. В результате этого процесса плазмогамия, кариогамия и гаплоидизация хромосом происходят не в специализированных половых структурах, или в определенной стадии жизненного цикла, а в вегетативной гифе мицелия. Парасексуальный цикл заключается в слиянии генетически различных ядер в любой вегетативной гифе гетерокариотического мицелия и последующей рекомбинации участков хромосом при митозе.

Парасексуальный цикл имеет большое значение у несовершенных грибов, для которых характерно отсутствие полового процесса. Например, для грибов рода *Verticillium* он является источником возникновения изменчивости. У некоторых грибов парасексуальный цикл происходит и при наличии полового процесса.

ГРИБЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Развитие и жизнедеятельность микроорганизмов тесно связаны с условиями среды, в которой они обитают. Внешняя среда может стимулировать или подавлять рост биодеструкторов. При решении основных проблем, связанных с грибными повреждениями, большое значение имеет знание физиологии грибов. Под физиологией понимают процессы обмена веществ организма со средой, его рост и развитие, реакцию на воздействие внешней среды и приспособление к ней.

Факторы окружающей среды, влияющие на активность микроорганизмов, можно разделить на химические и физические.

Химические факторы

К химическим факторам относятся: источники питания, кислород, кислотность среды и т. д.

Источники питания. Обмен веществ с окружающей средой состоит из двух основных процессов: биосинтеза веществ клетки (конструктивный обмен) и получения энергии (энергетический обмен). Оба процесса протекают в организме в виде сопряженных химических реакций, при этом иногда используется одно и то же соединение.

Метаболизм включает поступление веществ в клетку и выделение продуктов обмена из организма в окружающую среду.

Все организмы по способу питания подразделяют на четыре типа: фотоавтотрофы, фотогетеротрофы, хемоавтотрофы и хемогетеротрофы. В основу такого деления положены природа источника энергии и природа основного источника углерода. Организмы, использующие энергию света, называются фототрофами. Организмы, нуждающиеся в химических источниках, — хемотрофы.

По источнику углерода все организмы делятся на автотрофы, способные использовать CO_2 в качестве основного источника углерода, и гетеротрофы, требующие органические источники углерода.

Грибы относятся к хемогетеротрофам. Они используют химический источник энергии и органическое вещество в качестве главного источника углерода. Для хемогетеротрофов характерной особенностью является то, что для энергетического и конструктивного обмена часто используется одно и то же соединение, тогда как для других групп организмов существует различие между источником энергии и углерода. Гетеротрофы — это сложная и большая группа. В ней существуют дальнейшие подразделения на сапротрофы — организмы, растущие на отмерших растительных и животных остатках, и паразиты — питающиеся за счет живых организмов. Грибы, вызывающие повреждения промышленных материалов, относятся в большинстве случаев к сапротрофам, хотя среди них имеются виды, вызывающие одновременно и болезни растений. Например, в условиях прохладного влажного лета на образцах ситаллов были обнаружены колонии видов рода *Alternaria*, идентичные возбудителям альтернариоза помидоров (Э. З. Коваль и др., 1983).

Для того чтобы гриб мог расти и размножаться, в среде необходимо присутствие доступных источников энергии и исходных материалов для биосинтеза.

Какие вещества должны быть необходимы грибам для роста в первую очередь, видно из химического состава клетки. Как уже упоминалось, 80—90% общей массы клеток приходится на долю воды, поэтому ее присутствие в окружающей среде в доступной форме необходимо. В состав сухого вещества клетки в наибольшем количестве (95%) входят шесть элементов, называемых органогенами: С, N, P, S, H, O. Почти все организмы нуждаются также в Fe, Mn, Mg, Cu, Cl, K, Ca, Zn, Na и др. Количества этих элементов, необходимых для роста, очень малы — от 0,3 до 1%, поэтому их называют микроэлементами, или следовыми элементами.

Источники углерода. Гетеротрофность грибов выражается в необходимости органического источника углерода во внешней среде. Число соединений, которые могут быть использованы грибами для этой цели, чрезвычайно велико. Одни организмы удовлетворяют свои потребности в углероде каким-нибудь одним органическим соединением, другие нуждаются в присутствии ростовых факторов (витамины группы В, аминокислоты и др.).

При изучении индивидуальных пищевых потребностей видно, что существует большая группа грибов, использующих самые разнообразные С-содержащие субстраты. Такими полифагами являются *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. versicolor*, *Trichoderma viride*, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria tenuis* и др. Они способны осуществить окисление любого природного органического соединения. Примером «многоядного» гриба может служить *A. flavus*. Грибы этого вида выделены из разнообразных пищевых продуктов (зерно, хлебопродукты, сухофрукты, мясо, орехи, овощи), а также из кожаных изделий, бумажной массы, таннина, металлических изделий, лакокрасочных покрытий, текстильных изделий, фекалий насекомых, кишечного тракта человека.

Наряду с грибами-полифагами существуют более специализированные формы, приспособившиеся к окислению небольшого числа соединений, например, использующие в качестве основного источника углерода целлюлозу. В связи с этим повреждающее действие таких грибов распространяется главным образом на промышленные изделия с целлюлозной основой (бумага, древесина, ткани и др.).

Окисление органических соединений может быть полным и неполным. В первом случае в результате серии последовательных превращений углеводы окисляются до CO_2 и H_2O . Цикл трикарбоновых кислот представляет собой основной путь такого конечного окисления. Этот путь обеспечивает грибы не только энергией, но и предшественниками биосинтеза компонентов клетки. Когда имеет место частичное окисление, в среде накапливаются недоокисленные продукты (органические кислоты). С таким явлением мы сталкиваемся чаще всего там, где субстрат содержит высокие концентрации углеводов.

Окисление осуществляется либо кислородом воздуха, либо без его участия, по типу брожения. Брожение представляет собой сопряженный процесс окисления — восстановления, в котором одни атомы углерода окисляются за счет восстановления других атомов углерода одного и того же вещества, служащего источником энергии.

Подавляющее большинство микроорганизмов хорошо усваивают моносахариды, особенно глюкозу, хотя имеются и исключения. Так, оомикеты (*Phytophthora*) отдают предпочтение более сложным углеводам — крахмалу и декстрину. Некоторые виды *Fusarium* лучше усваивают пентозы.

Хорошим источником клеточного углерода служат многоатомные спирты; из них грибы предпочитают шестиатомные спирты (маннит). Легко потребляются грибами также органические кислоты и аминокислоты.

Использование углеводов (нефть и нефтепродукты: бензин, керосин, масла, асфальт и др.) наиболее характерно для *Cladosporium resinae* (Lindau) de Vries (*Amorphotheca resinae* Parbery), который в научно-популярной литературе называется «керосиновым» грибом.

Ряд грибов (*A. flavus*, *A. niger*) способны использовать такие устойчивые соединения, как воск и парафины. Известно, что бумага с парафинированным слоем, широко используемая во многих технологических циклах, в пищевой промышленности легко поражается грибом *A. flavus* и теряет при этом водоотталкивающие свойства. Грибы, использующие воск, разрушают произведения искусства, в состав которых входит этот компонент, например живопись, выполненную в технике энкаустики.

Грибы с высоко развитой ферментативной активностью хорошо используют и другие труднодоступные источники углерода, в том числе сложные эфиры (синтетические и природные), полиолефины (полиэтилен), карбоцепные полимеры (поливинилацетат, поливинилхлорид, поливиниловый спирт).

Способность грибов использовать углерод липидов изучена мало, главным образом из-за нерастворимости их в воде. Однако некоторые грибы (*A. niger*, *P. notatum*, *Fusarium moniliforme*), обладающие липазной активностью, хорошо растут и спороносят на средах, в которых льняное и хлопковое масло являются единственным источником углеродного питания. Кроме того, показано, что развитие микромицетов на изделиях из кожи приводит к снижению содержания в ней жира с 22 до 3%.

Органические соединения, которые служат источниками питания для грибов, входят в состав многих промышленных материалов, что и является причиной их заселения грибами. Кроме того, источником органических веществ могут служить различного рода загрязнения, попадающие на материалы, которые по своему химическому составу не могут служить источниками энергии и углерода (металлы, стекло, некоторые полимеры, бетон и др.).

В некоторых случаях достаточно незначительного количества органического вещества, чтобы начался рост биодеструкторов. В связи с этим особую опасность представляют грибы-олиготрофы, нуждающиеся в ничтожно малых количествах питательных веществ. К числу таких грибов, например, относятся изоляты рода *Cladosporium*, выделенные с поврежденной настенной живописи.

Кроме органических источников углерода грибы нуждаются в небольших количествах CO_2 . Если, например, из среды полностью удалить CO_2 , то рост культуры задерживается, а иногда полностью подавляется. Обычно грибы удовлетворяют свои потребности в углекислоте за счет тех количеств CO_2 , которые образуются при использовании органических субстратов. Некоторые грибы (*Cladosporium* sp., *Cephalosporium* sp., *Fusarium* sp.) способны усваивать CO_2 из воздуха.

Источники азота. Азотное питание в жизнедеятельности грибов занимает меньший объем, чем углеродное. Во-первых, потому что азота в химическом составе клетки в 5—6 раз меньше, чем углерода; во-вторых, соединения углерода употребляются в большом количестве, так как они одновременно используются в конструктивном и энергетическом обмене. Что касается значения для метаболизма гриба, то азот не уступает углероду.

Для синтеза организмов аминокислот, белка, нуклеотидов, хитина и других азотсодержащих соединений в окружающей среде должен присутствовать доступный источник азота. Грибы могут использовать для этой цели как минеральные, так и органические соединения. Наиболее универсальным источником *минерального азота* является азот нитратов. К усвоению нитратного (NO_3^-) и нитритного (NO_2^-) азота способны около 90% грибов. К ним принадлежат многие сумчатые и несовершенные грибы, а также ряд дереворазрушающих. Некоторые грибы не могут использовать азотнокислые соли, что, по-видимому, объясняется отсутствием у них способности к восстановлению нитратов. Плохо усваивают нитратный азот большое число оомицетов и отдельные базидиомицеты.

Не способен усваивать нитратный азот и *Penicillium ammonio-phylum*.

Многие грибы удовлетворяют свои потребности в азоте за счет аммонийных солей, а некоторые используют как нитратные, так и аммонийные соли. Например, *A. niger* при низких значениях pH потребляет нитратный азот, а при pH выше 3 усваивает в первую очередь аммонийный. Приведенный пример показывает, какое важное значение для обменных процессов грибов имеют окружающие условия среды.

Органические азотсодержащие соединения потребляются только теми грибами, которые могут разлагать их с образованием аммиака. Такие субстраты, как натуральный шелк, кожа, служат источником азота для организмов, продуцирующих экстрацеллюлярные протеазы.

Способность фиксировать газообразный азот обнаружена у ограниченной группы азотфиксирующих грибов, а именно у видов рода *Phoma*, *Rizoctonia*, *Pullularia*, *Puccinia*.

Принципы составления питательных сред для выделения грибов с поврежденных материалов и хранения чистых культур. Особенности обмена веществ организмов, их потребности в источниках углерода и энергии всегда учитываются при составлении (подборе) питательных сред для выделения грибов, вызывающих повреждение того или иного материала. При этом руководствуются правилом, что концентрация углерода должна быть в 10—15 раз выше концентрации азота.

Для выделения грибов из очагов повреждения и дальнейшего получения чистых культур используют специальные жидкие или плотные среды. Обычно применяют среду Чапека (синтетическая среда) или сусло-агар (природная среда).

Среда Чапека (г)		Сусло-агар
Сахароза	30	Пивное сусло (5—8° по Баллингу)
NaNO ₃	2	Агар-агар 2%
KH ₂ PO ₄	1,0	Эта среда содержит
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,3	комплекс всех необходи-
KCl	0,5	мых грибам питательных
FeSO ₄	0,01	веществ: углеводы, азо-
Агар-агар	20	тистые вещества и золь-
Вода	1000 мл	ные элементы

Упомянутые среды содержат углеводы, легко усваиваемые грибами, поэтому на них получают преимущественное развитие быстрорастущие виды.

Для выявления более полного состава грибов в очаге повреждения иногда применяют «голодные» среды с незначительным содержанием питательных веществ. Например, агар с разведенным в 10 раз суслом или голодный агар (20 г агар-агара на 1 л воды). В этих условиях не происходит образования крупных колоний, что позволяет обнаружить большее видовое разнообразие грибов-биодеструкторов.

При получении чистых культур грибов кроме указанных сред используют среды, обладающие определенными селективными свойствами по отношению к конкретным грибам. Например, для культивирования дереворазрушающих грибов используют стерильные опилки разных пород деревьев; грибы, вызывающие порчу нефти и ее производных, поддерживают на средах, содержащих в качестве единственного источника углерода различные углеводороды. При выделении и хранении грибов, повреждающих произведения изобразительного искусства, которые выполнены из кости, в среду вносят костную муку.

Следует иметь в виду, что длительное выращивание грибов на богатых пищевых субстратах приводит к утрате их разрушающей активности. Чтобы избежать этого и сохранить агрессивность грибов в отношении определенного субстрата, рекомендуется культивировать их в постоянном контакте с соответствующим материалом. С этой целью следует поддерживать грибы на средах, в которых единственным источником углерода является повреждаемый материал или его компоненты.

Выделение грибов методом посева на питательные среды позволяет в большей или меньшей степени охарактеризовать видовой состав организмов в очаге повреждения. Однако этот метод не дает представления о состоянии, в котором находятся те или иные виды грибов: в состоянии спор или активно растущего мицелия. Метаболическую активность выделенных грибов определяют по интенсивности дыхания, уровню активности ферментов в поврежденном участке, а также другими методами.

Кислород. Изучение способности грибов расти при разном содержании кислорода имеет большое значение как для очистки промышленных и сточных вод, так и для разработки условий, препятствующих повреждению органических субстратов, поскольку потребность в кислороде у грибов связана с окислением органических веществ.

Большинство грибов относится к факультативным аэробам, хотя среди них встречаются и факультативные анаэробы (дрожжи).

Установлено, что аэробные организмы сильно отличаются друг от друга по потребности кислорода, необходимого для их роста. Известно также, что иногда для роста гриба требуется один уровень O_2 , а для метаболических процессов — другой. Например, для синтеза лимонной кислоты промышленным штаммом *A. niger* необходимо большее количество кислорода, чем для максимального выхода биомассы.

Разные дозы кислорода влияют на характер роста грибов. Так, в стационарных культурах образуется характерная плотная пленка из переплетенных гиф, тогда как при встряхивании или продувании культуры появляются мелкие шарики мицелия, равномерно растущие во всем объеме культуральной жидкости. На некоторые грибы (*Aureobasidium pullulans*, *Rhodotorula sannei*) интенсивная аэрация действует угнетающе. При избытке кислорода у них начинают действовать защитные механизмы, которые приводят к появлению

пигментов, обладающих восстановительными свойствами (типа меланина и каротиноидов). Известны грибы (*A. oryzae*), у которых максимальная интенсивность дыхания наблюдается при повышенном содержании кислорода.

Грибы различаются чувствительностью к недостатку кислорода. Например, *Fusarium oxysporum* может сохранять жизнеспособность в отсутствие кислорода 13 недель, тогда как *F. eumartii* выдерживает анаэробные условия только 21 сутки. Несовершенные грибы менее чувствительны к недостатку кислорода, чем дереворазрушающие. Допустимый минимум давления кислорода для *Serpula lacrymans* 100 мм рт. ст. (13,3 кПа) (З. Э. Беккер, 1963). Именно из-за недостатка кислорода в субстрате (при высокой влажности) развитие гриба часто приостанавливается. В результате нехватки кислорода дереворазрушающие и деревоокрашивающие грибы сравнительно быстро погибают в древесине при ее затоплении во время сплавов. На этом принципе основано предохранение древесины от загнивания методом дождевания.

Кислотность среды. Многие промышленные материалы (бумага, стекло, пергамент и др.) могут быть кислыми и щелочными в зависимости от их состава и назначения. Так, водная пленка, находящаяся всегда на поверхности стекла во влажной атмосфере, в зависимости от химического состава стекол имеет рН от 5,5 до 9,0.

Активная кислотность (рН) среды является важным фактором роста и развития грибов. Концентрация водородных ионов влияет на ионное состояние, а следовательно, на доступность многих метаболитов и неорганических ионов для организма. Кроме поступления веществ в клетку рН определяет стабильность макромолекул и активность ферментов. Уровень рН воздействует также на образование грибами пигментов, половое и бесполое размножение. Значение рН окружающей среды оказывает влияние на морфологию мицелия. При рН больше 6,0 длина гиф *Penicillium chrysogenum*, растущего в проточной культуре, уменьшается и вместо гиф образуются шарики.

Грибы могут развиваться в широком диапазоне рН. Это наглядно видно из данных табл. 2.

Для каждого организма имеется своя оптимальная зона рН, в пределах которой он развивается наилучшим образом. Например, оптимальный рост дереворазрушающих грибов (*Fomes roseus*, *Serpula lacrymans*, *Coniophora cerebella*) наблюдается при рН 3,0, тогда как верхняя граница лежит в области 7,0...7,5. Как правило, грибы испытывают угнетение, если рН отклоняется в ту или другую сторону от оптимума. Очень кислая и очень щелочная реакции среды токсичны для большинства грибов. Предельные значения рН, выше и ниже которых рост прекращается, равны 1,0 и 11,0. Большинство грибов лучше развиваются в слабокислых условиях (рН 5,0—6,0). Организмы, способные существовать в сильнокислых (ацидофильные) и сильнощелочных (алкалофильные) средах, встречаются редко. Известны лишь отдельные случаи развития грибов

Т а б л и ц а 2. Рост грибов при различных значениях pH
(Т. Г. Мирчинк, 1976)

Виды грибов	pH среды											
	1,4	2,0	2,5	3,1	3,7	4,3	5,5	6,0	6,5	7,2	7,8	8,8
<i>Mucor hiemalis</i>	0	0	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4
<i>Mortierella ramanniana</i>	0	0	1	2	—	3	—	3	3	2	1	0
<i>Zygorhynchus vuielemi-</i> <i>ni</i>	0	0	0	3	3	3	—	3	3	2	2—3	1—2
<i>Absidia cylindrospora</i>	0	1	5	5	5	5	5	4	3	3	3	3
<i>Trichoderma lignorum</i>	1	3	3	4	5	5	4	3	3	3	3	3
<i>Penicillium</i> sp.	1	2—3	2—3	—	—	3	3	3	3	3	3	3
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0	1	1	4	5	5	5	5	5	5	5	4
<i>Coccospora agricola</i>	0	0	0	0	0	2	4	4	4	4	4	4
<i>Mycogone nigra</i>	0	0	0	1—2	—	3	—	3	3	3	3	2
<i>Fusarium orthoceras</i>	0	1	1—2	2—3	2—3	3	—	4	5	3	5	3—4
<i>Phoma</i> sp.	0	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3	3

П р и м е ч а н и е. Интенсивность роста обозначена в пятибалльной системе.

в 2,5 н. H_2SO_4 и HCl . Их следует считать облигатными ацидофилами.

Многие грибы проявляют толерантность к кислым условиям. Большое количество таких ацидотолерантных (кислотостойких) форм обнаружено среди грибов рода *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*.

Щелочные условия, встречающиеся в природе, обычно связаны с почвой, реже с водоемами. В почвах, имеющих щелочную реакцию, наиболее часто можно видеть представителей рода *Mortierella* (*M. alpina*, *M. minutissima*). По данным Е. С. Лисиной-Кулик (1967), в карбонатных почвах Пермской области наблюдается 100%-ная встречаемость грибов этого рода. Они характерны для субстратов, содержащих $CaSO_4$, SiO_2 , CaO . Наряду с видами рода *Mortierella* в щелочных почвах содержится много пенициллов, аспергиллов и темноокрашенных грибов. В известняковых пещерах на сталактитах найден гриб *Verticillium lamellicola*.

Многие грибы способны расти в очень широком диапазоне pH. Например, у *Penicillium variable* границы от pH 2,2 до pH 11,2.

В большинстве случаев микроорганизмы изменяют pH среды, в которой они развиваются. В одних случаях это связано с потреблением определенных компонентов среды, в других — с образованием продуктов жизнедеятельности (органические кислоты, аммиак). Интенсивное потребление аниона NO_3^- из соли KNO_3 неизбежно приводит к подщелочению среды. Рост грибов на белоксодержащих субстратах (кожа, шерсть и др.) сопровождается сдвигом pH среды в щелочную сторону в результате образования аммиака. При выращивании некоторых грибов на субстратах, содержащих глюкозу, происходит снижение pH среды, так как в результате сбраживания

глюкозы накапливаются органические кислоты, увеличивающие концентрацию водородных ионов. Подобный сдвиг pH в кислую сторону наблюдается при росте *Chaetomium globosum* и *Trichoderma viride* на среде, содержащей бумагу.

Изменение pH зависит от природы соединения, служащего источником питания, и скорости его использования. На субстратах, содержащих крахмал (медленно используемый), как правило, pH меняется медленнее, чем на средах, в состав которых входит быстроусваиваемая глюкоза.

До сих пор накоплено мало сведений о грибах, живущих как при высоких, так и при низких значениях pH, не много известно и о механизмах, обеспечивающих выживаемость в этих условиях. Однако возрастание загрязнения окружающей среды за счет промышленных вод, участвовавших «кислых» дождей в будущем приведет к появлению новых местообитаний организмов, способных переносить подобного рода экстремальные условия. Это повлечет за собой и увеличение опасности микробного повреждения различных объектов.

Физические факторы

Среди физических факторов окружающей среды, определяющих жизнедеятельность микроорганизмов, наиболее важными являются влажность, температура, освещение и некоторые другие. Диапазон физических факторов, которые оказывают непосредственное воздействие на грибы, определяется многими причинами, в том числе климатическими условиями, условиями хранения и эксплуатации материалов.

Задача исследователя состоит в том, чтобы на основании знания физиологических особенностей грибов-биодеструкторов прогнозировать условия, препятствующие их росту, и сводить к минимуму нежелательный процесс грибной деструкции субстрата.

Влажность имеет наиболее важное значение для прорастания спор и развития мицелия. Диапазон изменения влажности, при котором возможна вегетация грибов, более узкий, чем температуры и pH.

Вода необходима грибам для диффузии питательных веществ в клетку, для внутриклеточного метаболизма, вывода токсических продуктов и других процессов, связанных с ростом и размножением. Потребность в воде у разных грибов не одинакова: одни нуждаются в повышенной влажности, другие хорошо растут при дефиците воды.

Количественно потребность микроорганизмов в воде выражают несколькими способами: относительной влажностью (ОВ) воздуха, активностью воды (a_w), водным потенциалом (ψ).

Относительная влажность воздуха — это процентное отношение фактической насыщенности воздуха водяным паром к максимально возможному насыщению при данной температуре. Воздух считается насыщенным, когда при неизменной температуре он не может боль-

ше впитывать водяной пар. Относительная влажность насыщенного до предела воздуха равна 100%.

Активность воды (a_w) характеризует доступность ее для микроорганизмов. Она выражается отношением давления пара (p) над раствором к давлению пара над чистой водой (p_0) при определенной температуре $a_w = p/p_0$. Активность воды показывает степень связанности ее молекул. У чистой воды она равна 1. По отношению к ней все растворы имеют a_w меньше единицы. Чем меньше активность воды, тем больше величина водоудерживающих сил в субстрате, тем менее доступна вода для микроорганизма. Способность грибов существовать при разных уровнях влажности говорит об их способности преодолевать силы, связывающие воду с субстратом.

Водоудерживающие силы выражают в единицах давления (барах, паскалях и др.), которые характеризуют термодинамическую работу, затрачиваемую микроорганизмом для извлечения воды. Это так называемый **водный потенциал (ψ)**. Потенциал чистой воды равен 0. По отношению к чистой воде все растворы имеют отрицательные потенциалы, которые выражаются в отрицательных барах. Соотношение единиц давления влаги, ее активности и относительной влажности приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Способы выражения влажности

Относительная влажность воздуха	Активность воды, a_w	Водный потенциал	
		бары	паскалы
100%	1,0	0	0
99,3	0,993	—10	—10 ⁶
96,5	0,965	—50	
93	0,93	—100	—10 ⁷
86	0,86	—200	—2 · 10 ⁷
80	0,80	—300	—3 · 10 ⁷
74	0,74	—400	—4 · 10 ⁷

Все способы выражения оводненности окружающей среды употребляются с одинаковым правом.

Грибы могут расти на средах со значением активности воды от 1,00 до 0,60. Из всех микроорганизмов они наиболее устойчивы к обезвоживанию. Для большинства грибов минимальный уровень ОВ воздуха равен 70% (для бактерий 95%). Отдельные представители способны расти при более низких значениях. Так, *Xeromyces bisporus* и *Aspergillus glaucus* растут при $a_w = 0,60$.

По способности существовать при разных уровнях влажности грибы делят на три группы: гигрофилы (нижняя граница a_w выше 0,90), мезофилы (предел прорастания спор a_w 0,80...0,90), ксерофилы (a_w ниже 0,80).

Большинство грибов, вызывающих биоповреждения, относятся к мезофилам. Из них наиболее требовательны к высокой влажности зигомицеты, муковые грибы и некоторые виды рода *Fusarium*.

В условиях повышенной сухости субстрата чаще всего встречаются представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Trichocladium*, *Paecilomyces*, *Wallemia*, *Xeromyces*, *Alternaria*, *Curvularia*. Некоторые виды грибов особенно устойчивы к недостатку влаги: *Aspergillus fumigatus*, *A. terreus*, *Penicillium funiculosum*, *Cladosporium*, *Stemphylium*. Устойчивость к низким значениям a_w определяет их ареалы. Грибы родов *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium* обнаружены во многих пустынных почвах.

Из перечисленных грибов род *Aspergillus* насчитывает самое большое число видов, устойчивых к повышенной сухости. Грибы, входящие в группу *A. glaucus* и в группу *A. restrictus* (минимальные значения a_w для них 0,60—0,75), считаются экстремальными ксерофилами. Среди пенициллов устойчивостью к низким значениям a_w выделяются *P. frequentans* (a_w 0,81), *P. chrysogenum* (a_w 0,80), *P. verrucosum* var. *cyclopium* (a_w 0,78), *P. implicatum* (a_w 0,78).

Для прорастания спор, вегетативного роста и образования репродуктивных органов требуются разные уровни влажности. Для роста мицелия и образования конидий необходимы более высокие значения a_w , чем для прорастания спор. В свою очередь образование репродуктивных органов происходит в условиях более высокой влажности, чем рост мицелия. В табл. 4 приведены минимальные значения активности воды, при которых еще возможно прорастание спор у разных видов грибов.

Таблица 4. Минимальные значения a_w , необходимые для прорастания конидий грибов

Виды грибов	Минимальные значения a_w	Время, необходимое для начала роста, сут	Температура, °C
<i>Aspergillus flavus</i>	0,84	21	
<i>A. nidulans</i>	0,84	21	
<i>A. versicolor</i>	0,80	63	
<i>Botrytis cinerea</i>	0,92	5,6	20
<i>Chrysosporium fastidium</i>	0,64	48	20
<i>C. xerophilum</i>	0,69	49	25
<i>Cladosporium herbarum</i>	0,71	37	25
<i>Fusarium</i>	0,88—0,91	Различное	Различная
<i>Geotrichum candidum</i>	0,90	15	20
<i>Paecilomyces variotii</i>	0,84	9	25
<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,81	21	
<i>P. expansum</i>	0,84	21	
<i>Stachybotrys atra</i>	0,94	2	23
<i>Stachybotrys</i> sp.	0,90	14	25
<i>Stemphylium</i> sp.	0,90	14	25
<i>Thielaviopsis</i> sp.	0,95	14	25
<i>Trichoderma viride</i>	0,91	7	25
<i>T. roseum</i>	0,90	4	20
<i>Wallemia sebi</i>	0,75		22
<i>Xeromyces bisporus</i>	0,60	120	

Снижение уровня влажности увеличивает период прорастания спор. Например, при 100% влажности воздуха споры *A. niger* прорастают за 12 ч, при 85% — за 17 ч, а при 78% — за 100 ч. Повышенная сухость замедляет не только прорастание спор, но и скорость роста мицелия, влияет на морфолого-культуральные признаки грибов. У многих микромицетов при понижении ОВ воздуха возникает сильная редукция вегетативных и репродуктивных органов. Иногда в этих условиях весь организм представлен лишь одной или несколькими гифами.

Следует различать активное жизнедеятельное состояние и выживаемость грибов при низких значениях a_w . Границы выживаемости организмов значительно шире, чем границы активного роста. В настоящее время они четко не установлены, но известно, что вегетативные клетки, не имеющие защитных приспособлений от испарения воды, при пониженной влажности погибают значительно раньше, чем споры. Грибная клетка сначала теряет свободную, а затем связанную воду. В зависимости от количества потерянной воды организм либо переходит в состояние анабиоза, либо погибает. Гибель клетки наступает при потере примерно $\frac{7}{8}$ количества связанной воды, что у большинства микроорганизмов происходит обычно при относительной влажности воздуха, равной 40—60%.

В отличие от мицелия споры хорошо переносят длительное высушивание. Находясь в условиях сверхвысокого вакуума или в лиофилизированном состоянии, они в течение нескольких лет не теряют способности к прорастанию. Повышенную сухость воздуха и субстрата способны также выдерживать склеротии и хламидоспоры.

Влажность субстрата. Любой субстрат (материал), способный к поглощению влаги, находится в состоянии влажностного равновесия с воздухом. Если влажность воздуха повышается, материал впитывает влагу, если уменьшается — отдает.

В настоящее время для большинства материалов не установлены точные границы их влажности, при которых наблюдается разрушающая деятельность микроорганизмов. Объясняется это тем, что до сих пор простейшим способом измерения оводненности субстрата было определение общего содержания в нем воды (влагосодержание).

Влагосодержание — это суммарное количество воды в материале, выраженное в процентах от массы абсолютно сухого субстрата. Такое определение не дает представления о доступности данной воды для микроорганизмов, так как оно включает как связанную, так и свободную воду субстрата. Первая форма воды определяет свойства материала. Например, в бумаге она через водородные связи прочно связана с волокнами и не может быть использована микроорганизмами. В связи с этим материалы одинакового влагосодержания, но разной доступности воды при прочих одинаковых условиях будут повреждаться грибами неодинаково. Микроорганизмы могут использовать только свободную или слабосвязанную воду. Начало роста грибов на гигроскопичных материалах происходит при таком его влагосодержании, когда появляется несвязанная

вода. Древесина при влажности ниже точки насыщения волокна (30%) грибами не повреждается. Рост микромицетов на бумаге происходит только после того, как общее влагосодержание бумаги достигнет 8—10%, так как при этом появляется капиллярная (свободная) вода. Считается, что минимальная влажность субстрата, при которой возможно развитие бактерий, 20—30%, а грибов — 13—15%.

Влажность материала при развитии на нем грибов обычно возрастает. Увлажнение происходит за счет выделения воды как одного из конечных продуктов метаболизма. Известно, например, что *Serpula lacrymans* при разрушении 1 м³ древесины выделяет до 139 л воды, а при росте гриба *Coniophora puteana* исходная влажность образцов древесины, равная 6,75%, возрастает до 30—64%. Увлажнение материалов под влиянием грибов создает условия для заселения их новыми более влаголюбивыми видами.

Прекращение роста большинства микромицетов при определенных уровнях относительной влажности воздуха является одним из способов борьбы с грибным повреждением материалов. Именно с этой целью применяют различные гидрофобизаторы (алкилсиликонаты натрия, полиалкилгидроксиланы и др.). Образующиеся при этом химически связанные покрытия на материалах создают условия, отрицательно влияющие на рост грибов.

Температура имеет большое значение в жизни грибов. Она не только определяет саму возможность развития, но и регулирует клеточную активность, поскольку рост и развитие организма представляют совокупность множества энзиматически контролируемых процессов, каждый из которых имеет свой температурный оптимум. Эту температурную зависимость выражают тремя кардинальными точками: минимумом, оптимумом, максимумом.

Минимальная и максимальная температура определяет границы, за которыми рост гриба не происходит, как бы долго ни продолжалась инкубация. Температура, при которой наблюдается максимальная скорость роста, считается оптимальной.

Рост грибов возможен в широком диапазоне температур. Гриб *Serpula lacrymans*, повреждающий лесоматериалы, не в состоянии расти, если температура ниже 8°C или выше 27°C, оптимальное развитие его наблюдается при 23°C (рис. 23). Из слизи, образующейся на оборудовании бумажных фабрик, выделены грибы, растущие при 60—62°C. В то же время некоторые гифомицеты обитают в холодных почвах тундры и в холодильных установках при —6...—8°C.

На основании температурного диапазона роста грибов выделяют 3 большие группы: психрофилы, хорошо растущие при низких температурах (0...+20°C); мезофилы, развивающиеся в среднем диапазоне температуры (+20...+35°C), и термофилы, растущие при высокой температуре (50°C и выше). Такое разграничение температурных групп в значительной степени условно, так как в природе существует много переходных форм. Для них иногда вводят понятие термотолеранты (термостойкие или факультативные термо-

филы) и психротолеранты (холодостойкие или факультативные психрофилы).

Большинство грибов, вызывающих повреждения материалов, относятся к мезофилам. Оптимум их развития лежит между 24 и 28°C.

Температура оказывает прямое воздействие на ареалы грибов. В качестве примера можно привести наиболее часто выделяющиеся с поврежденных материалов грибы рода *Penicillium* и *Aspergillus*. Хотя среди пенициллов имеется много эвритопных видов, встречающихся во всех широтах (*P. chrysogenum*, *P. notatum*, *P. janthinellum* и др.), в целом род *Penicillium* имеет более низкие кардинальные точки, чем род *Aspergillus*. Для роста большинства видов рода

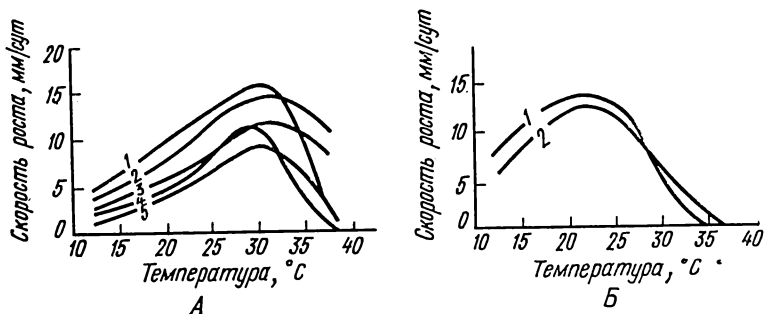


Рис. 23. Скорость роста дереворазрушающих грибов в зависимости от температуры:

А — виды грибов из семейства Polyporaceae: 1 — *Fomes fomentarius*, 2 — *Polyporus betulinus*, 3 — *Fomes pinicola*, 4 — *Lenzites sepiaria*, 5 — *Polystictus abietinus*; Б — домовые грибы: 1 — *Coniophora cerebella*, 2 — *Serpula lacrymans*

Aspergillus оптимальные температуры лежат в пределах 30—35°, для пенициллов — 25—30°. Это обуславливает преобладание пенициллов в северных широтах, где они представлены большим разнообразием видов. В южных районах доминируют аспергиллы, оптимальный рост которых происходит при более высоких температурах. Пенициллы в почвах южных широт составляют небольшую долю среди других грибов, и видовой состав их значительно беднее. Из приведенных примеров видно, что температура окружающей среды оказывает воздействие на качественный состав грибов-биодеструкторов, обнаруживаемых на поврежденных материалах. Преимущественное развитие получают те грибы, у которых температурный оптимум наиболее близок к окружающим условиям.

Психрофилы составляют особую, мало изученную физиологическую группу организмов, развивающихся при низких температурах.

Существует два типа микроорганизмов, способных к росту при температурах ниже 5°C. Первый тип представлен облигатными психрофилами, приспособленными к устойчивым холодным усло-

виям, когда низкая температура постоянна. Они имеют оптимальную температуру роста в пределах 15°C, минимальную 0° и ниже, максимальную 20—22°C. Как правило, эти грибы очень чувствительны к температурам, превышающим температурный максимум. Минимальные температуры, при которых возможен рост грибов, определены лишь у некоторых. На основании этих данных Н. Н. Жданова и А. И. Василевская (1982) относят к настоящим психрофилам следующие грибы: *Typhula idahoensis*, *T. incarnata*, *T. trifolii*, *T. umrina*, *Sclerotinia borealis*, *Fusarium nivale*, *Cylindrocarpon magnustatum*, *Hypoxylon diathrauston*, *Herpotrichia nigra*, *Plenodomus meliloti*, *Mycelia sterilia*, *Phacidium infestans*.

Второй тип — психротолерантные грибы обитают в неустойчивых холодных условиях, т. е. в условиях с временным охлаждением (суточным, сезонным). Эти грибы характеризуются более широкой областью температур роста. Для них минимальная температура, как у облигатных психрофилов, близка к 0°, но максимальная существенно выше — до 37°. Оптимальный рост наблюдается в интервале 20—30°C. Психротолерантные грибы могут выдерживать длительное воздействие температур значительно выше максимальной температуры их роста, благодаря этому они обладают конкурентным преимуществом по сравнению с облигатными психрофилами при более высоких температурах.

Из холодоустойчивых грибов, вызывающих повреждения, можно указать *Sporotrichum carnis*, *Cladosporium herbarum*, *Mucor mucedo*, виды родов *Candida*, *Torula*, *Geotrichoides*, *Blastomyces* и др.

Психрофилы встречаются как в естественных, так и в антропогенных биотопах. Местом их обитания в природе являются районы вечной мерзлоты, занимающие в нашей стране около 25%, а также субнивальные зоны горных поясов. Примером аналогичного антропогенного биотопа могут служить холодильные установки для хранения продовольствия.

Выяснение физиолого-биохимических особенностей психрофильных грибов находится на начальных этапах изучения. Однако уже известно, что организмы, живущие при низких температурах, отличаются высоким уровнем дыхания, большим количеством запасных веществ, которые поддерживают дыхание в отсутствие внешнего источника углерода. Известно также, что принципиальной особенностью психрофилов является жирно-кислотный состав клеточных мембран. Имеются прямые доказательства в пользу того, что мембраны с более высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот лучше функционируют при низких температурах.

Следует различать способность гриба вегетировать при низких температурах и способность выживать при сильном охлаждении (от —80° и ниже). Кратковременное воздействие таких биологически экстремальных температур возможно как в природных условиях, так и в условиях некоторых процессов производства. Судьбу клетки в этих случаях определяет скорость замораживания и оттаивания, так как ведущее значение в отмирании клетки придается

форме и размерам образующихся кристаллов льда. При медленном замораживании кристаллы льда в клетке и вне ее подвергаются рекристаллизации (укрупнению), что представляет главную опасность для сохранности клетки. Сверхбыстрое охлаждение уменьшает эту опасность, так как в этих условиях образуется аморфный лед. Высокая устойчивость к экстремально низким температурам (-269°) установлена у *Stemphylium sarciniforme*, *S. ilicis*, *Curvularia geniculata*, *Cladosporium cladosporioides*.

Не менее важна для выживания организма скорость оттаивания. Конидии *Aspergillus flavus*, охлаждаемые до -70°C , прорастают на 75 % после нагревания их при 700°C . Когда же оттаивание происходит при $0,9^{\circ}\text{C}$, те же конидии прорастают только на 7 %. Наиболее сильно летальный эффект проявляется при медленном нагревании от -20 до 0°C . В естественных условиях такое повторяющееся медленное замораживание и оттаивание часто приводит к гибели грибной клетки. Выживаемость грибов в этих условиях зависит от их видовой принадлежности, количества присутствующей в них влаги. Важно также, подвергаются ли действию низких температур мицелий или споры. Грибы активно вегетирующие более чувствительны к действию экстремально низких температур, чем толстостенные конидии, склероции и хламидоспоры.

С точки зрения повреждения материалов в условиях низких температур наибольший интерес представляет не просто выживаемость грибов, а грибная активность, скорость образования тех продуктов метаболизма, которые способствуют порче промышленных материалов. К сожалению, мы пока не располагаем достоверными данными относительно степени активности психрофильных грибов, хотя именно этот показатель представляет наибольший интерес с эколого-технологической точки зрения.

Термофилы — грибы, для которых высокая температура является обязательным условием роста. Среди них различают облигатные и термотолерантные (факультативные) формы. Облигатные термофилы имеют максимальную температуру роста не ниже 50°C , минимальную не ниже 20°C . Максимальная температура роста термотолерантных грибов также близка к 50°C , но минимальная значительно ниже 20°C .

Среди 50 000 видов грибов (J. Ainsworth, 1968) около 67 видов и разновидностей способны расти при температуре 50° и выше. Список этих грибов постоянно пополняется, так как в последние годы большое внимание уделяется исследованию популяций микроорганизмов, ответственных за разогревание и порчу различных материалов. Можно перечислить много антропогенных биотопов с высокой температурой, из которых выделены термофилы: градирии (*Peniophora mollis*), горячие стоки ядерных реакторов (*Dactylaria gallopava*), нагревающиеся при движении топливные системы звуковых самолетов (*A. fumigatus*), трубы охлаждения и слива на некоторых заводах, подземные кабели высокого напряжения и др. Термотолерантные грибы являются причиной самовозгорания собранных в кучи древесных стружек, в результате чего ежегодно

теряется значительная часть сырья для производства бумаги. К дополнительным экономическим потерям ведет изменение цвета стружек, удорожающее обработку и снижающее качество продукции.

Известно также участие термофильных и термотолерантных грибов в спонтанном разогревании и самовоспламенении сена, в порче и потере зерна при хранении (*Absidia corimbifera*, *Aspergillus fumigatus*, *A. candidus*, *Humicola lanuginosa*, *Mucor pusillus*).

Некоторые термофильные грибы патогенны для человека и теплокровных животных. К ним в первую очередь относятся *Mucor pusillus*, вызывающий различные микозы, *A. fumigatus*, являющийся причиной аспергилеза легких, *Dactylaria gallopava*, вызывающая энцефалит.

Верхним температурным пределом для эукариотических организмов считается температура 60—62°C. Большинство грибов при кратковременном воздействии температуры 65—70°C погибает, поскольку их ферменты претерпевают термальную инактивацию. Однако термостойкость некоторых грибов превышает эти температурные границы. Например, конидии *A. niger* выживают после 7-суточного пребывания в вакууме при 100—107°C, конидии *Cereospora carthami* выдерживают 12-часовое сухое прогревание при 55°C. Несомненно, что грибы, способные переносить кратковременное воздействие высоких температур, а также грибы, вегетирующие при температуре около 50°C, обладают специфическими физико-химическими особенностями.

Термофилы могут быть использованы для превращения отходов целлюлозы в белок микроорганизмов, поскольку многие виды этих грибов обладают высокой целлюлазной активностью. Способность термофильных грибов использовать различные пластмассы в качестве единственного источника углерода поможет в будущем решить вопрос о борьбе с отбросами городского хозяйства, содержащими пластмассы.

Излучения, которым подвергаются в окружающей среде микроорганизмы, бывают неионизирующие и ионизирующие. К первому типу относится солнечная радиация; ко второму — потоки частиц и квантов электромагнитного излучения, прохождение которых через вещество приводит к ионизации атомов или молекул среды. Ионизирующие излучения попадают на Землю в виде космических лучей, возникают в результате радиоактивного распада атомных ядер (α -, β -частицы, γ -излучение), создаются искусственно (электромагнитное излучение, γ -, рентгеновское и коротковолновое УФ-излучения).

Первые формы жизни на Земле подвергались действию очень высоких доз коротковолновой солнечной УФ-радиации. Постепенно в результате выделения кислорода и образования в атмосфере слоя озона возник защитный экран от коротковолнового излучения Солнца. В настоящее время снова появилась опасность действия высоких доз излучения, но главным образом ионизирующей радиации, возникающей в результате ядерных реакций. Своим происхождением она обязана деятельности человека.

Неионизирующее излучение. Солнечная радиация относится к факторам окружающей среды, которые оказывают существенное влияние на процессы жизнедеятельности микроорганизмов. Каждую минуту на поверхность Земли падает $\sim 8,28$ Дж световой солнечной энергии. Действие разных участков спектра солнечного излучения на грибы неодинаково: длинноволновое излучение приводит к активации тепловых рецепторов; ультрафиолетовые лучи вызывают мутагенный и летальный эффект; с видимым светом связаны все фотобиологические процессы (фотосинтез, фотозащитные и фотохимические). Длины волн, соответствующие различным областям спектра излучения, приведены на рис. 24.

Видимый свет. Сведений о действии света на развитие мицелия немного. Известны лишь отдельные случаи угнетения или стимуляции роста под влиянием яркого света у *Trichoderma viride* и некоторых видов рода *Penicillium*. Малочисленность работ в этом на-

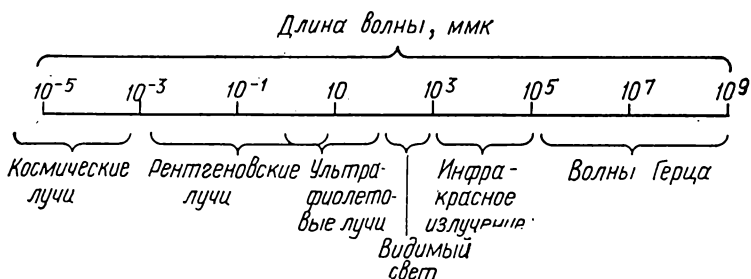


Рис. 24. Спектр электромагнитного излучения

правлении объясняется отсутствием методически разработанного подхода. Большинство исследований посвящено изучению влияния света на способность грибов к спорообразованию. Некоторые грибы (*Curvularia lunata*, *Bipolaris sorokinianum*) образуют споры лучше в темноте, чем на свету, другие (*Fusarium moniliforme*, *Cercospora* sp.) — не реагируют на изменение освещения. В то же время имеются примеры, когда свет стимулирует спороношение (виды *Penicillium*). Различное действие света на спорообразование появляется даже внутри одного рода: *Botrytis cinerea* спороносит на свету и в темноте, *B. gladiolum* — только на свету.

В настоящее время внимание исследователей концентрируется на изучении микохромных (фоторецепторных) систем грибов, которые обнаружены у представителей разных таксономических групп: аскомицетов, базидиомицетов, дейтеромицетов. У трех грибов (*Botrytis cinerea*, *Alternaria tomato*, *Helminthosporium oryzae*) доказано участие микохромов в процессах спорообразования. Делаются попытки определить природу этих соединений и расшифровать механизм регуляторного действия света.

У многих грибов обнаружено явление фототропизма, например у сумчатых и гименомицетов. Своеобразные механизмы позволяют им

ориентировать определенным образом органы спороношения в отношении света. По-видимому, положительным фототропизмом обладают и гифы некоторых дереворазрушающих грибов, т. к. в условиях плохого освещения, например в шахтах, у них образуются плодовые тела необычно вытянутой формы без гимениального слоя.

Видимый свет может влиять на пигментообразование. Усиление пигментации мицелия и конидий наблюдается у *Fusarium moniliforme*, *Phoma* sp., *Penicillium sclerotiorum*, *Helminthosporium victoriae*. Это может служить объяснением тому, что при ярком освещении материалы подвергаются большей опасности появления нежелательных пигментных пятен, чем в условиях затененности.

УФ-излучение. Из всего спектра солнечного излучения наиболее опасны для микроорганизмов ультрафиолетовые лучи. Интенсивность облучения, которой подвергаются грибы, зависит от высоты солнца над горизонтом, концентрации озона, облачного покрова, загрязненности воздуха. Известно, что на долю УФ-излучения (10—400 Нм) приходится около 9% всей энергии излучения солнца. Большая его часть поглощается в ионосфере Земли. И тем не менее оно обладает высокой биологической активностью. Эффект воздействия УФ-излучения на грибы различен в зависимости от дозы облучения и его спектрального диапазона.

Малые дозы оказывают стимулирующее действие. У некоторых видов темноцветных грибов (*Alternaria*, *Helminthosporium*, *Stemphylium*) зафиксировано усиление спорообразования и прорастания конидий при облучении УФ-излучением различного спектрального диапазона. С помощью УФ-излучения получены половые стадии у ряда несовершенных грибов, что позволило определить их систематическое положение.

Большие дозы УФ-излучения оказывают мутагенное и летальное действие. Например, под влиянием УФ-излучения с длиной волны 290 нм, которое преобладает в УФ-излучении Солнца, достигающем земной поверхности, появляются мутанты на культурах *A. terreus* и *P. notatum*. Летальный эффект УФ-излучения используется для стерилизации помещений и отдельных материалов.

Биологическое действие УФ-излучения обусловлено химическими изменениями поглощающих их молекул живых клеток, главным образом нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) в результате фотохимических реакций. Из них наибольшую опасность представляет образование пиримидиновых димеров в ДНК. Считается, что они являются одной из основных причин мутагенного и летального действия.

Среди грибов наблюдается большое разнообразие в степени их устойчивости к солнечной радиации. По данным Н. Н. Ждановой и сотр. (1982), колебания в УФ-резистентности у темноцветных грибов составляют примерно 5 порядков (от 0,001 до 40%) (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Устойчивость некоторых видов грибов к УФ-облучению дозой 408 Дж/м²

Высокоустойчивые (выживаемость 10% и выше)	Устойчивые (выживаемость 1—10%)	Чувствительные (выживаемость 0,01—1%)	Высокочувствитель- ные (выживаемость 0,01% и ниже)
<i>Hormiscium stil-</i> <i>bosporum</i> <i>Dendryphium</i> <i>macrosporioides</i> <i>Heterosporium</i> sp. <i>Curvularia lunata</i> <i>C. tetramera</i> <i>Helmintho-</i> <i>sporium turcicum</i> <i>Stemphylium</i> <i>sarciniforme</i>	<i>Rhinocladium</i> <i>sporotrichoides</i> <i>R. nigrosporioides</i> <i>Arthrinium sphae-</i> <i>rosperrum</i> <i>Humicola grisea</i> <i>Trichocladium opa-</i> <i>cum</i> <i>T. canadense</i> <i>Bispora</i> sp. <i>Curvularia genicu-</i> <i>lata</i> <i>Helminthosporium</i> <i>bondarzewi</i> <i>Alternaria</i> sp. <i>A. alternata</i> <i>Stemphylium ilicis</i> <i>Stemphylium bo-</i> <i>tryosum</i> <i>Chrysosporium</i> sp. <i>Trichocladium</i> sp. <i>Stachybotrys alter-</i> <i>nans</i> <i>Humicola</i> sp.	<i>Cladosporium</i> <i>linicola</i> <i>C. hordei</i> <i>C. atroseptum</i> <i>C. macrocarpum</i> <i>C. brevi</i> — com- <i>pactum</i> var. <i>taba-</i> <i>cinum</i> <i>Oidiodendron ce-</i> <i>realis</i> <i>O. flavum</i> <i>Scolecobasidium</i> <i>constrictum</i> <i>S. variabile</i> <i>Trichosporium</i> <i>nigricans</i> <i>Curvularia pal-</i> <i>lescens</i> <i>Alternaria dian-</i> <i>thicola</i> <i>Humicola fus-</i> <i>co-atra</i> <i>Cladosporium</i> <i>griseo</i> — <i>oliva-</i> <i>ceum</i> <i>C. transchelii</i> <i>Humicola grisea</i> <i>Aureobasidium</i> <i>pullulans</i>	<i>Cladosporium</i> <i>elegantulum</i> <i>Phialophora</i> sp. <i>Chloridium api-</i> <i>culatum</i> <i>Diplorhino-</i> <i>trichum</i> sp.

В настоящее время большинство исследователей считают, что защитные свойства грибов к УФ-излучению обусловлены наличием у них темного пигмента типа меланина.

Устойчивость грибов к действию повышенной солнечной радиации создает опасность для сохранности многих памятников архитектуры, монументальной скульптуры и настенной живописи. Грибы, обладающие высокой устойчивостью к УФ-излучению, способны вызвать повреждения сооружений и конструкций на открытых площадках и даже в высокогорных районах, где доза солнечной радиации особенно высока.

Ионизирующее излучение. Чувствительность различных грибов к ионизирующему облучению колеблется в широких пределах. Среди представителей семейства Dematiaceae эти колебания достигают 100 раз. Однако в целом темноцветные грибы выделяются своей резистентностью к γ -облучению, виды родов *Stemphylium* и *Alternaria* выдерживают дозу ~ 161 кл/кг (625 крад) (рис. 25).

В настоящее время еще недостаточно данных, чтобы провести корреляцию между резистентностью грибов и уровнем радиации в

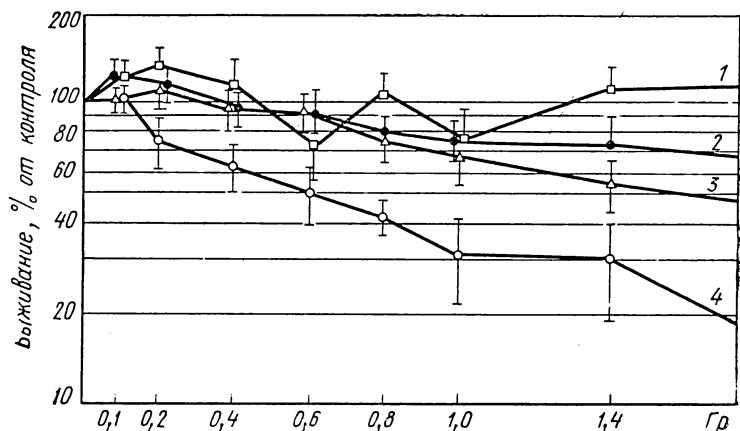


Рис. 25. Выживание грибов *Stemphylium* и *Alternaria* при различных дозах облучения (Т. Г. Мирчинк, 1976):

1 — *Stemphylium botryosum*, 2 — *Alternaria tenuis* 134, 3 — *S. botryosum*, 4 — *A. tenuis*

среде их обитания. Однако известны случаи адаптации микроорганизмов к радиоактивному излучению. Так, в ядерном реакторе был обнаружен *Pseudomonas*, в консервированном мясе — *Micrococcus radiodurans*, способный переносить без заметной инактивации поглощенные дозы излучения до 500 грэй. Хотя приведенные примеры касаются бактерий, не исключена возможность возникновения радиорезистентных штаммов и среди грибов в процессе широко применяемой стерилизации пищевых продуктов γ -лучами.

Внимание исследователей сейчас направлено на изучение природы радиационных повреждений и защитных механизмов у микроорганизмов от действия ионизирующего излучения. В настоящее время получены косвенные доказательства, что ионизирующая радиация вызывает повреждение ДНК. Считается, что в основе радиорезистентности лежат внутриклеточные процессы, участвующие в репарации поврежденной ДНК. Современные представления о системах репарации ДНК основаны главным образом на исследовании радиочувствительных мутантов различных организмов, в том числе *Aspergillus nidulans*, *Coprinus lagopus*, *Saccharomyces cerevisiae*.

Мутанты, обладающие устойчивостью к действию ионизирующего излучения, изучены пока недостаточно, но в будущем эксперименты с ними позволят понять природу радиорезистентности.

Изучение реакции микроорганизмов на действие повышенного уровня радиации в окружающей среде имеет теоретическое и практическое значение. Дозы, оказывающие летальное действие на микроорганизмы, применяются для защиты материалов от микроструктуров. Например, с помощью γ -лучей была простерилизована мумия фараона Рамзеса II, спину которой покрывал сплошной налет плесени (около 60 видов грибов). Этот метод, разработанный

Центром ядерных исследований в Гренобле, сейчас успешно применяется для спасения многих художественных ценностей и археологических документов.

Реакции грибов на факторы окружающей среды. Рост микроорганизмов на промышленных материалах тесно связан с условиями той среды, в которой они находятся. Следует отметить, что влияние отдельных факторов на развитие даже широко распространенных грибов изучено недостаточно. Еще менее изучено их взаимосвязанное действие на микроорганизмы, которое имеет место в естественных условиях. Изменение одного фактора приводит к измененной реакции организма на действие других факторов внешней среды. Однако устойчивость грибов к отдельному неблагоприятному фактору всегда выше, если другие условия среды близки к оптимальным. Повышению устойчивости грибов к экстремальным условиям способствует питательная ценность субстрата, на котором развиваются биодеструкторы. Например, при обилии доступных питательных веществ грибы могут развиваться при более низких значениях a_w , чем на субстратах с ограниченным питательным статусом. На пищевых продуктах часто встречаются ксерофиллы, растущие при a_w ниже 0,85 (*Chrysosporium*, *Eremascus*, *Wallemia*, *Xeromyces*). *Cladosporium herbarum* вегетирует при 8°C (в холодильных установках) при наличии богатого органического субстрата.

Знание реакции грибов на факторы окружающей среды применяют на практике для борьбы с биодеструкторами. Например, гибель микроорганизмов при высоких температурах и определенных дозах излучения используют для стерилизации. Сохранение древесины методом дождевания основано на чувствительности дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов к недостатку кислорода.

Температурно-влажностные условия, при которых наступает необратимая утрата способности микроорганизмов к размножению (ОВ воздуха в пределах 50—70%, T°C 12—18°), используют при разработке инструкций хранения материалов на складах предприятий, в книгохранилищах, музеях и фондах.

Положение грибов в экосистеме

Повреждения материалов, вызываемые грибами, имеют место в самых различных экологических условиях, причем нередко этот процесс является звеньями общего круговорота веществ в природе. Для грибов наиболее привычными субстратами являются опавшие листья, сучья, пни. В обстановке, создаваемой человеком, они развиваются в первую очередь также на материалах растительного происхождения — древесине, бумаге, ткани. В очагах повреждения указанных материалов, как и в природе, возникают определенные экосистемы. В них происходит круговорот веществ и обмен энергией организмов друг с другом и внешней средой. Однако нужно иметь в виду, что биологические системы, образующиеся на по-

врежденных материалах, имеют более упрощенную структуру, так как на материалах присутствуют лишь отдельные представители природного биоценоза. Кроме того, для подобных экосистем характерны укороченные пищевые цепи и ослабленная саморегуляция, вследствие чего нередко преимущественное развитие получают отдельные организмы.

Процессы, протекающие на других поврежденных материалах — пластмассах, резинах, металлах, стекле, — нельзя отождествлять с биоценоотическими отношениями, имеющими место в природных условиях. Пока преждевременно говорить о существовании устойчивых сочетаний микроорганизмов на этих относительно новых для грибов материалах, так как считается, что каждый биоценоз должен иметь свою историю, ареал, структуру, признаки оригинальности и самостоятельности (Ф. Рамад, 1981). Тем не менее можно выделить некоторые общие закономерности в экологии грибов-биодеструкторов.

Положение организмов в любой экосистеме определяется прежде всего их трофическими связями. Грибы, вызывающие биоповреждения, входят в группу гетеротрофных сапротрофов. Они тесно связаны с субстратом, обладают большой поверхностью всасывания и оказывают активное влияние на окружающую среду через продукты метаболизма. Несмотря на то что все микодеструкторы гетеротрофы, они очень разнообразны по своим пищевым потребностям. На основании отношения к субстрату их можно разделить на две группы: неспецифические и специфические сапротрофы.

К *неспецифическим сапротрофам* относятся грибы-полифаги, встречающиеся на различных субстратах. Из них чаще всего на промышленных материалах развиваются виды родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Fusarium* (табл. 6).

Грибы этих родов образуют разнообразные и в обильном количестве ферменты, способствующие их активной биохимической деятельности, которая выражается в разрушении материалов. Однако даже для одного и того же гриба данное вещество может иметь неодинаковую питательную ценность в зависимости от ряда условий, таких, как температура, влажность, наличие других питательных веществ. Например, распространенные на юге виды пенициллов, входящие в секцию *Monoverticillata*, обладают меньшей способностью к кислотообразованию и разрушению клетчатки, чем пенициллы из секции *Asymmetrica*, доминирующие на севере. Изоляты северных районов обладают более высокой каталазной активностью, чем южных.

Специфические сапротрофы, встречающиеся на поврежденных материалах, состоят из более или менее специализированных организмов. Они сформировались в процессе приспособительной эволюции к тем или иным субстратам. К грибам такого рода относится домовый гриб *Serpula lacrymans*, развивающийся только на деловой древесине. Другим примером может служить *Cladosporium resinae*, который растет на производных нефти, предпочитая бензин и керосин.

Таблица 6. Основной видовой состав грибов, выделенных из различных материалов

Виды грибов	Группы материалов							
	бумага, книги, картон, ткани	масло, топливо	живопись, фрески, краски	лаки, пласт-массы	электрокабели, металлы с покрытием	линзы, оптика	руды, камень, бетон	комбинированные материалы на минеральной основе
<i>Alternaria geophila</i>			+				+	
<i>A. tenuis</i>	+	+	+	+	+		+	+
<i>Aspergillus amstelodami</i>		+	+	+	+			
<i>A. candidus</i>	+	+	+					
<i>A. flavus</i>	+	+		+	+	+		
<i>A. fumigatus</i>	+	+		+	+	+		
<i>A. glaucus</i>				+		+	+	
<i>A. melleus</i>		+						
<i>A. nidulans</i>	+	+		+				
<i>A. niger</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. oryzae</i>	+	+		+				
<i>A. sclerotiorum</i>	+			+				+
<i>A. repens</i>	+		+	+	+			+
<i>A. ruber</i>	+			+				
<i>A. rugulosus</i>		+		+				
<i>A. terreus</i>	+			+	+			
<i>A. versicolor</i>	+	+		+	+	+		
<i>Botrytis cinerea</i>			+					
<i>Cephalosporium acremonium</i>	+		+				+	
<i>C. coremioideus</i>			+		+			
<i>Chaetomium globosum</i>	+	+	+	+	+	+		
<i>Cladosporium cladosporioides</i>			+				+	
<i>C. herbarum</i>	+		+	+	+		+	
<i>C. resinae</i>		+						
<i>C. sphaerospermum</i>			+					
<i>Eidamella deflexa</i>	+							
<i>Fusarium oxysporum</i>		+						
<i>F. sporotrichiella</i>		+					+	
<i>F. sp.</i>	+			+	+			
<i>Geotrichum candidum</i>	+		+					
<i>Monilia sitophila</i>	+	+	+					
<i>Paecilomyces variotii</i>	+	+	+	+	+			
<i>Penicillium decumbens</i>	+		+	+				
<i>P. brevi-compactum</i>		+	+	+	+		+	
<i>P. chrysogenum</i>	+		+	+	+	+		+
<i>P. citrinum</i>	+		+			+		
<i>P. commune</i>	+		+			+		
<i>P. crustosum</i>	+	+		+				
<i>P. cyaneo-fulvum</i>	+	+	+					+
<i>P. frequentans</i>	+	+			+	+		
<i>P. funiculosum</i>	+		+	+	+			
<i>P. glaucum</i>	+			+		+		
<i>P. implicatum</i>				+	+		+	+
<i>P. janthinellum</i>			+	+				
<i>P. notatum</i>	+		+		+		+	

Виды грибов	Группы материалов							
	бумага, книги, картон, ткани	масло, топливо	живопись, фрески, краски	лаки, пластмассы	электрокабели, металлы с покрытиями	линзы, оптика	руды, камень, бетон	комбинированные материалы на минеральной основе
<i>P. palitans</i>	+			+	+			
<i>P. purpurescens</i>	++			++				
<i>P. purpurogenum</i>	++		+	++			+	
<i>P. regulosum</i>	++			++	+		++	
<i>P. roquefortii</i>	++			++	++			
<i>P. variable</i>	++			++	++			
<i>P. verrucosum</i> var. <i>cyclopium</i>	+	+	+	+	+			
<i>P. viridicatum</i>	+	+		+				
<i>Phoma glomerata</i>			+	++				
<i>P. pigmentivora</i>				++			++	
<i>Pullularia pullulans</i>			+	+				
<i>Spicaria</i> sp.	+		++					
<i>Sporotrichum bombicinum</i>	++		++	+	+	+		
<i>Stachybotrys atra</i>	++		+	+				
<i>Stemphylium macrosporoideum</i>	+	+						
<i>Trichoderma koningi</i>	+					+	+	+
<i>T. lignorum</i>	+		+	+	+		+	
<i>T. viride</i>					+	+		
<i>Verticillium lateritium</i>	+		+					
<i>Mucor plumbeus</i>	++							
<i>M. racemosus</i>	++		+			+		
<i>Rhizopus nigricans</i>	+		+			+		

Целлюлозоразрушающие грибы — менее специфичны по своим пищевым потребностям, так как к ним относятся грибы, у которых свойство разрушать целлюлозу может быть выражено в разной степени, от очень слабой до сильной.

Деление микодеструкторов на экологические группы в зависимости от их отношения к субстрату было дано М. В. Горленко (1984). Эти группы четко прослеживаются при заселении и последующем разрушении промышленных материалов различного химического состава.

Сукцессии видов, или определенная смена микодеструкторов, изучена лишь на отдельных материалах. Так, смена экологических групп в зависимости от пищевых потребностей хорошо прослеживается на таком субстрате, как древесина. В последовательности ее заселения большую роль играют физиолого-биохимические особенности грибов. Первыми на мертвых древесных субстратах появляются грибы, использующие легко доступные углеводы (сахара, крахмал, гемицеллюлозы). Эту группу составляют только быстро-

растущие формы, у которых при наличии подходящего субстрата быстро прорастают споры и покоящиеся клетки. Кроме того, многие из них образуют антибиотики. Все эти свойства позволяют грибам сразу занять господствующее положение. Первыми поселяются на древесине мукоровые грибы, отдельные виды родов *Penicillium* и *Aspergillus* и некоторые другие.

По мере использования доступных источников питания на первый план выступают целлюлозоразрушающие грибы, представители сумчатых и несовершенных грибов. Когда все легко усваиваемые углеводы использованы первичными поселенцами, начинают развиваться грибы, разрушающие лигнин. Эта группа представлена в основном медленно растущими базидиомицетами, которые завершают деструкцию древесины.

На отдельные стадии сукцессии большое влияние оказывает влажность. Например, по данным Ю. П. Нюкши, по мере увлажнения субстрата происходит прорастание спор в такой последовательности: *Aspergillus echinatus*, *A. ruber*, *A. amstelodami*, *A. restrictus*, *A. repens*, *Penicillium brevi-compactum*, *P. frequentans*, *P. turbatum*, *A. niger*, *A. nidulans*, *A. versicolor*.

При наличии сходного субстрата в разных экосистемах состав сообщества может меняться под действием температуры. Работами С. А. Ваксмана, А. И. Райло, Л. И. Курсанова, Т. П. Сизовой показано распределение представителей разных секций рода *Penicillium* в различных широтах земного шара: на севере преобладает секция *Asymmetrica*, в южных районах — секция *Monoverticillata*. Постепенная смена видового состава по мере продвижения с севера на юг известна для грибов рода *Penicillium* и *Aspergillus*, о чем уже упоминалось в разделе «Температура».

Эколого-географическая специфика распределения микроорганизмов и отличия в активности биологических процессов у грибов различных почвенно-климатических зон находит отражение в наборе микроорганизмов, используемых для лабораторных испытаний в разных странах. Так, в ФРГ и ГДР считают самыми агрессивными видами *Alternaria tenuis*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium herbarum*. В Западной Африке и Западной Индии — *C. herbarum*, *Phoma*, *Alternaria*, *Trichoderma*, *Penicillium*. В Японии — *C. herbarum*, *Aureobasidium pullulans*, *Trichoderma*. В Англии более 85% случаев разрушения наружных покрытий вызывают *A. pullulans*, *Diplodia*, *Alternaria*, *Trichoderma* (Р. Благник и В. Занова, 1965).

Биоповреждения, вызываемые одним и тем же организмом в совершенно различных экологических условиях, объясняются гетерогенностью вида грибов-сапротрофов. О наличии разных экологических вариантов *Penicillium nigricans* свидетельствуют работы Т. П. Сизовой и Е. Н. Бабьевой, которые установили, что штаммы этого гриба различаются по температурному оптимуму в зависимости от происхождения: бразильский штамм лучше всего растет при 37°C, максимальная скорость роста изолятов *P. nigricans*, выделенных в северных районах, наблюдается при 18°C; оптимальный рост штаммов, изолированных на юге, — при 25°C.

Кроме упомянутых факторов на состав грибного ценоза влияет плотность конидий того или иного гриба в окружающей среде, которая связана с определенной экологической обстановкой, меняющейся в зависимости от конкретных причин. Например, установлена связь увеличения плотности конидий *Cladosporium resinae* с проведением лесозаготовок сосны, на которой этот гриб охотно поселяется. Увеличению плотности конидий в воздухе способствует проведение земляных работ, вследствие чего из почвы в окружающую среду попадает большое количество почвенных грибов.

Все экологические исследования грибов, вызывающих повреждение материалов, до сих пор в основном сводились к установлению набора видов, характерных для того или иного материала. В настоящее время видовой состав организмов-биодеструкторов установлен достаточно полно. На основании этих данных можно сделать вывод, что среди грибов-деструкторов имеются как постоянно встречающиеся виды, так и виды, характерные для определенных экологических условий.

Процесс заселения и последующего разрушения промышленных материалов популяциями грибов, которые могут объединяться в сообщества и биоценозы, принимает в последнее время все более широкие масштабы. Причина такого явления кроется в ряде биологических особенностей грибов.

Биологические особенности грибов, вызывающих биоповреждения

Грибы имеют некоторые морфологические, физиологические и генетические особенности, благодаря которым они занимают доминирующее положение среди организмов, вызывающих биоповреждения.

Для повреждения материалов необходимо присутствие микроорганизмов в окружающей среде. Грибы очень широко распространены по всему земному шару. Они присутствуют в почве, воде и воздухе. Большинство грибов, вызывающих повреждение материалов, обладает высокой энергией размножения. Например, сухоспоровые формы (виды аспергиллов, пенициллов, триходермы, скопуляриопсиса) образуют такое количество спор, которое исчисляется миллионами и сотнями тысяч. Споры настолько малы и масса их так незначительна, что при малейшем движении воздуха они поднимаются на большую высоту и переносятся на значительные расстояния. Благодаря своим микроскопическим размерам они могут проникать в невидимые глазу трещины и поры, которыми пронизаны такие плотные материалы, как гранит и металл. Иногда грибы обнаруживаются на стыке полимера и входящих в его состав компонентов. Споры могут увлекаться просачивающейся с поверхности водой в глубь некоторых материалов, особенно пористых. Эти примеры свидетельствуют о том, что грибы можно встретить всюду, даже там, куда не проникают другие организмы.

Большую роль при заселении материалов играет способность спор адсорбироваться на гладкой поверхности. Адгезия является первым этапом биоповреждений твердых нерастворимых субстратов.

Закрепившись на поверхности материалов, при благоприятных условиях споры прорастают, образуя мицелий. Мицелиальное строение грибов является одной из наиболее важных биологических особенностей, определяющих их специфику взаимоотношения со средой. Мицелий быстро распространяется по субстрату и захватывает большие площади. Так, мицелиальные тяжи, которые образуют домовые грибы, могут достигать несколько метров. Иногда они тянутся по субстрату, не имеющему питательной ценности, но при этом вызывают его разрушение. Подобный случай наблюдался в опытном туннеле Варшавского метро: тяжи гриба *Serpula lacrymans*, выделяя органические кислоты, разрушили бетонные опоры.

Доминирующая роль грибов среди микроорганизмов в процессах биоповреждений обусловлена их метаболическими особенностями, которые заключаются в очень богатом ферментативном аппарате. Грибы образуют инвертазу, амилазу, протеазы, липазы, фосфатазы, танназу, оксидазу α -аминокислот, пектиновые ферменты, полифенолоксидазу, каталазу, комплекс целлюлаз и др. Ферментативный аппарат грибов наиболее богат по сравнению с другими микроорганизмами. С его помощью они осуществляют разнообразные химические превращения сложных субстратов, которые не доступны другим микроорганизмам. Поэтому они способны привести к преждевременному выходу из строя любое промышленное изделие. Способность грибов-полифагов расти на самых разнообразных субстратах является причиной тех масштабов опасности грибного повреждения, с которыми мы сталкиваемся в настоящее время.

Кроме широкого набора ферментов многим грибам свойственна способность образовывать токсические продукты, что еще больше повышает их конкурентоспособность за освоение субстрата.

Опасность для многих материалов представляют и другие продукты метаболизма грибов, особенно органические кислоты. Так, коррозия алюминиевых баков в самолетах вызывается кислотами, которые образует *Cladosporium resinae* при росте на реактивном топливе (лимонная, цис-аконитовая, изолимонная, α -кетоглутаровая, щавелевая, уксусная, додекановая).

Немаловажную роль в микологическом повреждении материалов играет способность грибов расти в биологически экстремальных условиях. Споры грибов стойки к высушиванию, известны случаи, когда они выдерживали высушивание в течение 20 лет и более. Значительная часть грибных спор переносит низкие температуры без потери биохимической активности. В этом отношении показательны опыты французского физика Беккереля, который замораживал и хранил при температуре жидкого воздуха (-190°C) споры грибов в течение полугода, после чего они прорастали.

Высокая резистентность к перепадам температуры, влажности, рН известна у *Aspergillus fumigatus*. Его конидии, например, не по-

гибают при колебаниях температуры, возникающих во время полета реактивных самолетов, от -32 до $+60^{\circ}\text{C}$ в водной фазе, и от -32 до $+80^{\circ}\text{C}$ в топливе.

Отличительной особенностью некоторых грибов, вызывающих повреждения материалов, является их способность расти на твердых сухих субстратах, за счет атмосферного увлажнения. К таким грибам-ксерофилам относятся, например, *Aspergillus penicilloides* и *A. glaucus* var. *tonophilus* Ohtsuki, повреждающие оптические приборы. В обычных условиях эти грибы не выдерживают конкуренции с быстрорастущими видами, однако при низких значениях активности воды грибы-ксерофилы занимают на субстратах господствующее положение.

Условия существования грибов на материалах часто сопряжены с низкими концентрациями питательных веществ, что также можно рассматривать как экстремум. Многие грибы способны довольствоваться следовыми количествами питательных веществ. Эта особенность дает определенное преимущество олиготрофам при заселении таких субстратов, как, например, настенная живопись. Грибы-олиготрофы размножаются гораздо медленнее, но, приспособившись к жизни в столь суровых условиях, причиняют немалый ущерб.

Еще одной особенностью грибов является гетерогенность вида, т. е. наличие внутри вида штаммов, различающихся по морфологии, физиологическим, экологическим и другим признакам. Внутривидовое разнообразие известно у гриба *A. niger*. С поврежденных материалов, находящихся в промерзшей почве, выделен криофильный штамм. Он развивается при температуре $5-15^{\circ}\text{C}$, тогда как обычно *A. niger* растет при достаточно высоких температурах. Гетерогенность вида свойственна и другим грибам. Выше уже упоминалось о географических изолятах *Penicillium nigricans*. Известны также биохимические варианты *Cladosporium resinae*, использующие различные компоненты нефти.

Система внутривидовых популяций (штаммов, рас и т. п.) очень подвижна. Представленность того или иного штамма в ней меняется вследствие изменения условий окружающей среды. Это может, например, происходить при попадании материалов, служащих субстратом для гриба, в иной тепловой режим, в более влажную или сухую среду. При этом одни штаммы погибают, а другие получают преимущественное развитие. Кроме того, возможно возникновение новых штаммов. Индукторами таких новообразований могут быть экстремальные экологические условия или применяемые для защиты материалов биоциды. Известно мутагенное действие УФ-излучения и гамма-лучей, описано изменение морфолого-культуральных и физиологических свойств *Penicillium verrucosum* var. *cyclopium*, *A. niger* и других под влиянием биоцидов.

Грибы — очень варибельная и подвижная в экологическом отношении группа организмов. Один из механизмов изменчивости грибов — гетерокариоз. В зависимости от условий среды число ядер того или иного типа может варьировать в гетерокариотическом мицелии, обеспечивая этим приспособленность гриба к возникающим

условиям. Это свойство грибов имеет особое значение в связи с непрерывным созданием новых материалов и возникновением новых искусственно создаваемых биотопов.

Описанные морфологические, физиологические и генетические особенности грибов-биодеструкторов, безусловно, не исчерпывают всего многообразия их свойств, при помощи которых они приспособились к столь широкому диапазону окружающих условий. Однако они дают представление о том, почему грибы играют доминирующую роль в процессах биодеструкции природных и искусственно созданных материалов.

* * *

Разрушения микроорганизмами обычно происходят под действием не одной какой-либо группы, а комплексом, включающим и бактерии, и грибы. Одна группа микроорганизмов своей деятельностью подготавливает субстрат для другой. При этом возникают новые связи между отдельными микроорганизмами, постоянно формируются взаимосвязанные ассоциации, обеспечивающие выживание и адаптацию каждого вида в отдельности. Этот процесс очень сложный и обусловлен множеством факторов, среди них важнейшее значение имеет субстрат, на котором происходит формирование таких новых функционально взаимосвязанных единиц, как микробная ассоциация или биоценоз. При этом экологические условия играют важнейшую роль в их формировании. При различных экологических условиях на одних и тех же материалах формируются различные группы микроорганизмов, что было показано в работах А. Ю. Лугаускаса. Например, при испытании материалов на открытой площадке в условиях естественной относительной влажности и температуры воздуха, при прямом действии солнечной радиации и атмосферных осадков через 8 месяцев от начала опыта на испытываемых материалах доминировали мицелиальные грибы и бактерии, через 15 месяцев их сменяли дрожжи. В складском помещении при нерегулируемых относительной влажности воздуха и температуре, отсутствии резких перепадов параметров окружающей среды спустя 8 месяцев на материалах в основном преобладали мицелиальные грибы; к концу опыта на большинстве из них доминирующей группой становились бактерии, появились дрожжи. Под навесом при нерегулируемых влажности и температуре воздуха, исключении воздействия солнечной радиации и естественной вентиляции через 8 месяцев численность бактерий на образцах была наибольшей по сравнению с мицелиальными грибами и дрожжами, спустя 15 месяцев возрастал удельный вес дрожжей и мицелиальных грибов.

Таким образом, при разработке мер борьбы с микробиологическими повреждениями следует всегда учитывать возможность образования на поражаемом материале ассоциаций, включающих бактерии и грибы и существенно различающихся в разных экологических условиях.

3

НАСЕКОМЫЕ- ВРЕДИТЕЛИ ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ

СВЯЗИ НАСЕКОМЫХ С МАТЕРИАЛАМИ

Один из самых богатых видами класс — насекомые — включает сравнительно немногих вредителей материалов. На территории СССР зарегистрировано лишь несколько более 200 видов таких насекомых (Г. Н. Горностаев и др., 1970), относящихся к восьми отрядам (табл. 7).

Опасными для материалов являются представители 19 семейств жуков (табл. 8), причем четвертая часть всех вредителей отнесена к первостепенным и включает представителей *Dermestidae*, *Ptiniidae*, *Anobiidae*, *Tenebrionidae*, *Cerambycidae*, *Curculionidae*. Среди 14 семейств чешуекрылых (табл. 9) лишь *Tineidae* и *Pyrallidae* имеют достаточно много вредящих видов, но пищевые повреждения характерны только для настоящих молей. Первостепенные вредители имеются среди них и выемчатых молей. Остальные семейства чешуекрылых включают единичных случайных вредителей материалов.

Пищевые повреждения ограничиваются материалами растительного и животного происхождения, причем вредители растительных материалов более разнообразны, а материалам животного происхождения сильно вредят лишь кератофаги из отрядов *Coleoptera* и *Lepidoptera*. Синтетические материалы и изделия могут повреждаться при случайных контактах щетинохвостками, термитами, личинками жуков и гусеницами бабочек.

В большинстве случаев пищевые повреждения материалам наносят личинки, обитающие внутри или на поверхности материала. В силу этого между вредителями и материалами могут возникать топические, трофические и фабрические связи. Топическая связь характерна для изделий, имеющих удобные для поселения насекомых полости и отверстия, в таких случаях возможно внутреннее загрязнение изделия, причем длительность такой связи определя-

Т а б л и ц а 7. Число видов насекомых — вредителей материалов, встречающихся на территории СССР

Отряд	Вредители			
	первостепенные	умеренные	случайные	всего
Thysanura	—	1	—	1
Blattoptera	—	—	4	4
Isoptera	2	2	1	5
Orthoptera	—	—	6	6
Psocoptera	—	3	1	4
Coleoptera	30	22	68	120
Lepidoptera	4	20	32	56
Hymenoptera	—	2	6	8
Всего	36	50	118	204

Т а б л и ц а 8. Число видов жуков — вредителей материалов, встречающихся на территории СССР

Семейства	Вредители			
	первостепенные	умеренные	случайные	всего
Dermestidae	16	7	5	28
Lymexylonidae	—	1	2	3
Cleridae	—	—	2	2
Ostomatidae	—	—	2	2
Ptinidae	2	1	10	13
Anobiidae	7	4	8	19
Bostrychidae	—	1	3	4
Lyctidae	—	1	3	4
Buprestidae	—	—	1	1
Nitidulidae	—	—	2	2
Cucujidae	—	—	2	2
Endomychidae	—	—	1	1
Cisidae	—	—	1	1
Oedemeridae	—	2	—	2
Melandryidae	—	—	1	1
Tenebrionidae	1	1	5	7
Cerambycidae	2	2	11	15
Curculionidae	2	2	6	10
Scolytidae	—	—	3	3
Всего	30	22	68	120

ется особенностями биологии насекомого и микроклиматом в материале или изделии. Если насекомые, развивающиеся в полостях материала, используют его частицы для строительной деятельности, как, например, некоторые гусеницы молей при сооружении чехлика, то наряду с топической, возникает фабрическая связь, в результате чего материал может быть в некоторой степени поврежден. В тех

Т а б л и ц а 9. Число видов чешуекрылых — вредителей материалов, встречающихся на территории СССР

Семейства	Вредители			
	перво- стен- ные	умеренные	случайные	всего
Hepialidae	—	—	1	1
Tineidae	3	18	9	30
Oenophilidae	—	1	—	1
Cossidae	—	—	1	1
Tortricidae	—	—	1	1
Phalonidae	—	—	1	1
Momphidae	—	—	1	1
Gelechiidae	1	1	—	2
Blastobasidae	—	—	1	1
Pyralidae	—	—	11	11
Pieridae	—	—	1	1
Notodontidae	—	—	3	3
Noctuidae	—	—	1	1
Arctiidae	—	—	1	1
Всего	4	20	32	56

же случаях, когда насекомые используют субстрат, в котором обитают, в пищу, топическая связь дополняется трофической, что является наиболее характерным для насекомых — вредителей материалов. С материалами растительного и животного происхождения прямые трофические связи возникают главным образом у ксилофагов и кератофагов.

Организмы, поселяющиеся на материалах и вступающие с ними в топическую связь, называются гилобионтами, а вступающие в трофическую связь — гилофагами. Надо учесть, однако, что большинство вредителей материалов живут и питаются в природе вовсе не материалами, а природными растительными и животными продуктами и лишь единичные виды насекомых стали практически облигатными гилофагами.

Смена пищевых режимов у насекомых может сопровождаться перестройкой поведения, изменением способа приема пищи и модификацией ротового аппарата, а также изменением пищеварительных процессов. Очевидно, такие перестройки связаны с длительным процессом эволюции. У гилобионтов глубоких физиологических изменений обычно не наблюдается. Во-первых, все вредители материалов обладают грызущим ротовым аппаратом, филогенетически наиболее древним у насекомых. Обладатели специализированных ротовых органов (колющих, сосущих, лижущих) не способны разрушать материалы и не являются их вредителями. Во-вторых, в числе основных вредителей представлены главным образом ксилофаги и кератофаги, которые в природе питаются субстратом, очень близким по химическому составу к соответствующим материалам,

при переходе на питание которыми не требуются заметные изменения пищеварительных процессов. Как ксилофаги, так и кератофаги имеют специальные ферменты, особые условия пищеварения в кишечнике (в частности, отрицательный окислительно-восстановительный потенциал и симбиотические микроорганизмы, участвующие в обмене веществ). Такой комплекс физиологических адаптаций способствует утилизации этими насекомыми растительных и животных продуктов, не доступных другим представителям этого обширного класса.

Изменения поведенческих актов и устойчивость к абиотическим факторам среды могут перестраиваться более или менее существенно, в зависимости от условий, в которых происходит встреча насекомого с материалом. Можно выделить два крайних случая таких встреч: 1) внедрение изделия в природный биоценоз — непосредственную среду обитания потенциальных вредителей, 2) расположение изделий в городе, в отапливаемых помещениях, изолированно от природных популяций потенциальных вредителей. В первом случае переход насекомых на материалы может происходить вообще без каких-либо изменений в их физиологии и поведенческих реакциях, например повреждение деревянных столбов, мостов и т. п. Во втором случае требуется определенная приспособленность насекомых как к ужесточенным экологическим условиям, так и к питанию материалами, часто существенно измененными по сравнению с природными продуктами. Иными словами, необходим некоторый эволюционный процесс, в результате которого формируются синантропные виды насекомых — настоящие гилофаги — особо опасные вредители.

Появление всех материалов связано с трудовой деятельностью человека, поэтому естественно, что период эволюции гилофагов не может превышать длительности антропогена. Очевидно, такая эволюция тесно связана с развитием культуры. Если первобытный человек использовал естественные материалы, как правило, без существенного преобразования исходных продуктов, то с развитием технологии и машинного производства растительные и животные материалы все больше отличались от натуральных продуктов, росло их многообразие. Изменялась и экологическая обстановка жилища человека. Пещера — почти природная среда, крестьянская изба — более высокая ступень изоляции, а современная городская квартира в многоэтажном каменном доме с центральным отоплением — это следующая экологическая ступень. Большинство насекомых вообще не способно размножаться в помещениях, небольшая их часть продвинулась на различные ступеньки описанной эволюционной лестницы, и лишь единичные виды достигли вершины.

Насекомые — кератофаги

Группа насекомых, включающая власоедов, пухоедов, жуков-кожедоев и молей-кератофагов, способна переваривать и в значительной мере усваивать специфические склеропотеины — керати-

ны, которые входят в состав волосяного покрова и роговых образований млекопитающих, а также перьев птиц. В синантропных условиях наибольшее значение имеют жуки-кожееды и моли-кератофаги.

Жуки-кожееды (*Dermestidae*) (*Coleoptera*) представляют собой сравнительно небольшую, но очень важную в экономическом отношении группу жуков. Значительная часть входящих в нее видов относится к категории опасных вредителей материалов животного и растительного происхождения, шелководства и музейных коллекций. В список кожеедов, вредящих на территории Советского Союза, включено 42 вида, относящихся главным образом к родам *Dermestes* (рис. 26, А), (подсемейство *Dermestinae*), *Attagenus* (рис.

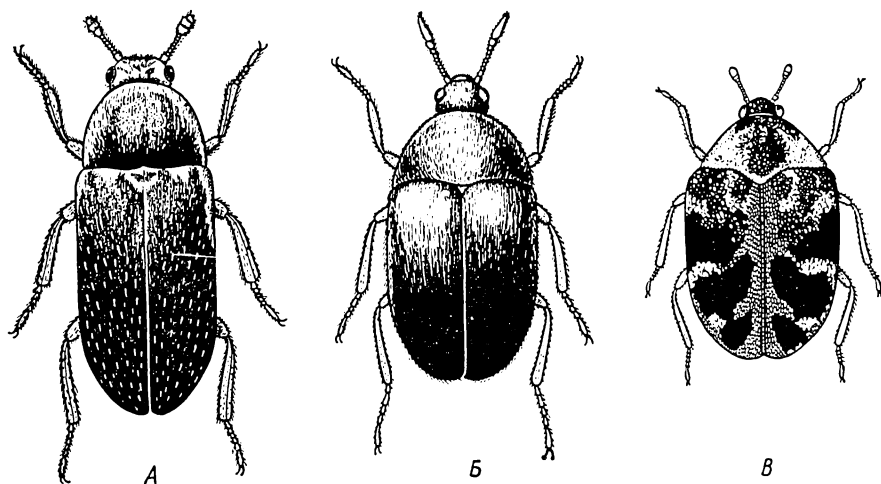


Рис. 26. Жуки-кожееды:

А — *Dermestes frischeri* Kug.; Б — *Attagenus unicolor* (Brahm); В — *Anthrenus scrophulariae* (L.).

26, Б), *Anthrenus* (рис. 26, В) и *Trogoderma* (подсемейство *Megatominae*).

Имаго имеют овальное тело, реже удлиненное или почти круглое. Длина 1,3—11 мм, ширина 0,5—5 мм. Верх, как правило, выпуклый, низ более или менее уплощенный. Кутикула пунктирована и почти всегда покрыта волосками или чешуйками. У большинства видов усики 11-члениковые с 3-члениковой булавой. Лоб часто с глазком. Переднеспинка поперечная, равномерно выпуклая. Переднегрудь часто с ямками для вкладывания булавы усиков. Передние тазики шаровидные, слегка поперечные или конические. Задние поперечные, соприкасающиеся с хорошо развитыми бедренными покрывками. Голени вкладываются в желобки на нижней стороне бедер. Лапки 5-члениковые.

Яйца имеют форму более или менее удлиненных овоидов. Длина

0,27—2,1 мм, ширина 0,08—0,8 мм. Поверхность гладкая, окраска варьирует от белой до кремовой.

Тело личинки овальное, веретеновидное или полуцилиндрическое (рис. 27). Верх всегда выпуклый, низ более или менее уплощенный. Длина (последний возраст) 1,5—17 мм, ширина 0,5—5 мм. Тергиты, а иногда и стерниты склеротизованы. Перепончатые участки покровов белые или желтоватые. Окраска склеритов варьирует от желтой до буро-черной. Тело покрыто простыми, ребристыми, стреловидными волосками или чешуйками. Голова гипогнатическая с 6—12 глазками. Усики короткие, 3-члениковые. Ноги состоят из 5 члеников, лапка полностью слита с единственным коготком. Брюшко состоит из 10 сегментов. У *Dermestes* 9-й сегмент с парой урогомф, а 10-й превращен в подталкиватель. У других кожеедов два последних сегмента развиты слабо и снабжены кисточкой из длинных волосков.

Куколка свободная, длиной 1,4—12 мм, шириной 0,6—6 мм. Вся кутикула, за исключением небольших участков на тергитах брюшка и урогомфах, не склеротизована. Поверхность в простых волосках. У видов, целиком сбрасывающих последнюю личиночную шкурку, на 9-м тергите имеется пара крючковидных урогомф.

Самки откладывают яйца небольшими порциями в щели или на поверхность пищи. Продолжительность инкубационного периода зависит от температуры и может колебаться от 2 до 55 суток.

Личинки начинают питаться вскоре после выхода из яйца. Общая продолжительность их развития и число линек зависят от качества пищи и температуры. При оптимальных условиях личинки линяют 5—7 раз (у самок часто наблюдается дополнительная линька) с интервалом 4—9 дней. Последний личиночный возраст, включающий пренимфальный период, длится около 2—3 недель. Личинки почти всех видов Megatominiæ могут при неблагоприятных условиях в течение длительного времени находиться в состоянии покоя — «факультативной диапаузы». Перед окукливанием личинки *Dermestes* выкапывают в почве или выгрызают в плотном субстрате ход (длиной 5—10 см), заканчивающийся небольшой камерой. Другие кожееды окукливаются в щелях и полостях того субстрата, в котором протекает их развитие. Продолжительность стадии куколки от 4 до 20 суток,

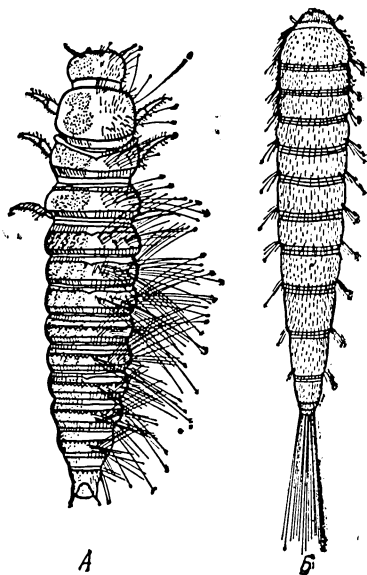


Рис. 27. Личинки жуков-кожеедов *Dermestes maculatus* Deg. (А) и *Attagenus fasciolatus* Sols. (Б)

Большинство кожеедов имеет однолетнюю генерацию. В южных районах нашей страны некоторые виды дают два поколения в год, а у отдельных представителей *Megatominae* даже при благоприятных условиях развитие длится не менее двух лет. У *Dermestinae* зимуют жуки, причем виды подрода *Dermestes s. str.* обладают стойкой имагинальной диапаузой. У *Megatominae* зимовка протекает в фазе личинки или имаго. В отапливаемых помещениях многие виды кожеедов развиваются без диапаузы и дают от 1 до 4 поколений в год.

Кожееды населяют все географические зоны, кроме тундры, но наибольшей численности и видового разнообразия достигают в районах с сухим и жарким климатом — в пустынях и полупустынях.

Они развиваются практически во всех местах, где имеются скопления веществ животного происхождения. Многие виды *Dermestes* — некробионты. Их развитие протекает на открыто лежащих трупах птиц, рептилий или млекопитающих. Другие представители этого рода обитают в гнездах птиц, где кроме них развиваются многие виды *Anthrenus* и *Attagenus*. Часть видов последнего рода относится к боттрибионтам. Некоторые из них выплаживаются в норах птиц и хищных млекопитающих, другие приспособились к существованию в норах грызунов.

Очень многие представители семейства так или иначе связаны с насекомыми и отчасти с пауками. Значительная группа видов входит в число симбионтов различных перепончатокрылых. Некоторые из них развиваются в гнездах шмелей (*Dermestes*), другие обитают в норах и гнездах пчел и ос (*Trogoderma*), третьи являются специализированными мирмекофилами. Часть видов приспособилась к существованию в гнездах пауков и оотеках богомолов. Кроме того, среди кожеедов есть виды, питающиеся трупами насекомых в дуплах, под корой деревьев, в песке, трещинах обрывов и скал.

В личиночной стадии все кожееды питаются сухими или подсыхающими субстратами, богатыми белками животного (как исключение — растительного) происхождения. Некробионты из рода *Dermestes* развиваются за счет тканей трупов позвоночных и беспозвоночных животных. Нидиколы из этого же рода питаются трупами птенцов и остатками приносимой в гнездо пищи. Другие нидиколы (*Anthrenus* и *Attagenus*) являются высоко специализированными кератофагами. Их пища состоит почти исключительно из кератинсодержащих веществ — шерсти, перьев и ороговевшего эпидермиса кожи. К кератофагам относятся также боттрибионты из рода *Attagenus*. В стадии личинки все они развиваются за счет личинной шерсти своих хозяев (в норах грызунов) и остатков их пищи (в норах хищников). Кожееды, живущие в гнездах перепончатокрылых и пауков, а также все дендробионты питаются сухими трупами насекомых и некоторых других членистоногих животных.

В имагинальной стадии многие кожееды питаются теми же веществами, на которых развиваются их личинки (*Dermestes*), дру-

гие принадлежат к группе антофагов, третьи являются афагами. Две последние группы связаны рядом переходов, так как несколько видов могут рассматриваться как факультативные афаги.

Вредные виды *Dermestidae* могут быть разделены на следующие группы: 1. Виды, случайно попадающиеся в запасах. 2. Факультативные синантропы, вредящие: а) в имагинальной стадии; б) в личиночной стадии; в) в имагинальной и личиночной стадиях. 3. Облигатные синантропы: а) не питающиеся в природе; б) питающиеся в природе.

Переходу кожедов в синантропные условия благоприятствуют следующие экологические особенности: 1) высокая численность вида в природе; 2) непосредственная связь местообитаний с постройками; 3) высокая экологическая пластичность (особенно в выборе местообитаний и пищевого субстрата); 4) афагия имаго; 5) отсутствие диапаузы.

Высокая устойчивость кожедов к действию неблагоприятных факторов среды, сравнительно высокая плодовитость жуков в сочетании с низкой смертностью личинок служат причиной того, что их численность на складах увеличивается с очень большой скоростью, и в некоторых случаях размножение вредителей принимает катастрофические размеры. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при планировании борьбы с вредными видами кожедов.

Многие виды являются вредителями всевозможных продуктов и материалов животного и растительного происхождения. Особенно часто они повреждают кожи и кожевенное сырье, меха, перо, шерсть и шерстяные изделия, мясо и мясные продукты, сыр, сухое молоко, сушеную и копченую рыбу, клей, музейные экспонаты, зоологические и энтомологические коллекции, гербарии, переплеты книг, а также копру, зерно и некоторые зерновые продукты. Размножаясь в тех или иных материалах, насекомые выгрызают в них многочисленные ходы и отверстия, загрязняют их шкурками и экскрементами, быстро приводя их в негодность. Кроме того, личинки многих видов *Dermestes* очень часто повреждают материалы и предметы, которыми они не питаются, а используют как субстрат для построения куколочной камеры. Перед окукливанием личинки покидают те вещества, в которых протекало их развитие, и вгрызаются в любые находящиеся поблизости предметы. Особенно часто от этого страдают стены зданий, в которых хранятся или перерабатываются продукты животного происхождения (мясокомбинаты, колбасные фабрики, склады и т. п.), и транспорт, использующийся для их перевозки. Кожееды повреждают асбест, картон, хлопок, хлопчатобумажные и синтетические ткани, лен, пластмассы, табачные изделия, телефонные кабели и т. п. В шелководческих предприятиях они уничтожают грену и сильно повреждают коконы тутового шелкопряда, прогрызая в них отверстия и делая их непригодными для размотки.

Наиболее опасными вредителями кожевенно-мехового сырья в нашей стране являются четыре вида *Dermestes* — *D. maculatus* Deg., *D. sibiricus* Er., *D. frischi* Kug., *D. lardarius* L., четыре вида *Attage-*

nus — *A. unicolor* (Brahm), *A. simulans* Sols., *A. augustatus* Ball., *A. smirnovi* Zhant, и два вида *Anthrenus* — *A. pimpinellae* F., *A. picturatus* Sols. Меньшее значение имеют шесть других видов из этих родов. Остальные кожееды размножаются в запасах кожевенно- мехового сырья редко и в сравнительно небольших количествах.

Шерсть и изделия из шерсти повреждаются многими кератофагами из родов *Attagenus* и *Anthrenus*. Из них наибольшее хозяйственное значение имеют два вида — *Attagenus unicolor* (Brahm) и *Anthrenus pimpinellae* F. Они встречаются на территории Советского Союза почти повсеместно, но максимальной численности достигают в южной половине европейской части СССР и на Кавказе. В некоторых городах все большее значение приобретает *A. smirnovi* Zhant. В Средней Азии *A. unicolor* (Brahm) замещен близким видом — *A. simulans* Sols. Кроме того, в этом районе сильно вредят и другие местные виды — *A. cyphonoides* Reitt., *A. augustatus* Ball. и *Anthrenus picturatus* Sols.

Шелководству в СССР вредят восемь видов кожеедов. Из них наибольшее значение, несомненно, имеет встречающийся во всех шелководческих районах нашей страны *D. frischeri* Kug. На Кавказе кроме него значительные убытки шелководческим хозяйствам наносят *D. maculatus* Deg., *D. lardarius* L. и *Anthrenus verbasci* (L.), а в Средней Азии сильно вредят *T. variabile* Ball., *T. teucton* Ball, *Attagenus lobatus* Ros., *A. simulans* Sols. и *Anthrenus flavidus* Sols.

Кожееды причиняют большой вред музейным коллекциям. Помимо сухих насекомых эти жуки довольно часто повреждают также чучела птиц и млекопитающих, гербарии и многие другие экспонаты, содержащие вещества животного происхождения. Список кожеедов, вредящих в музеях, включает более двух десятков видов. В нашей стране зоологические коллекции страдают главным образом от восьми видов *Anthrenus* и некоторых видов *Attagenus* и *Trogoderma*.

Скрытый образ жизни и высокая подвижность личинок ограничивают возможности применения механических способов очистки помещений и хранящейся продукции. Ловушки с пищевыми (в том числе отравленными) приманками могут использоваться для борьбы с жуками рода *Dermestes*. Выкладывание «отвлекающих» приманок — веществ, на которые самки кожеедов из подсемейства Megatominae могут откладывать яйца, не способствует существенному снижению численности вредителей. Значительно более перспективным представляется использование для сбора и уничтожения кожеедов половых аттрактантов.

Хранение пищевых продуктов и некоторых материалов (меха, ткани) при низких температурах (ниже 12°) полностью предохраняет их от повреждения кожеедами. Использование промораживания для истребления этих вредителей возможно только в тех случаях, когда склады заражены южными (особенно тропическими) видами. Высокие температуры могут применяться при дезинсекции (в специальных камерах) тех предметов и материалов, которые не

портятся при нагревании их до 80° в течение 1—2 ч (ткани, гербарии и т. п.).

Существующие в настоящее время летучие репелленты обладают очень слабым отпугивающим действием, химические и физические свойства этих веществ делают нежелательным применение их в жилых помещениях и исключают возможность использования в шелководческих хозяйствах. Ограниченное применение некоторых репеллентов (камфора, камфен, креозот) возможно только для защиты зоологических коллекций и гербариев при наличии в помещении герметических шкафов и совершенной вентиляционной системы.

К числу достаточно эффективных защитных мер следует отнести пропитку тканей и других материалов стойкими и не токсичными для человека веществами. Некоторые из этих веществ обладают репеллентными свойствами (например, тетраметрин, поверхностно-активные препараты), другие являются более или менее сильными инсектицидами.

Для уничтожения кожеедов на складах и в жилых помещениях широко применяются контактные инсектициды. Многие из них существенно снижают численность вредителей, но, как правило, не приводят к их 100%-ной гибели. Из многих препаратов, испытанных в нашей стране и за границей, наибольшей эффективностью обладают дилор, диэлдрин, ДДВФ, карбарил, фоксим, неопинамин и некоторые другие.

Сравнительное изучение многих инсектицидов свидетельствует о том, что даже близкие виды кожеедов иногда проявляют разную чувствительность к одним и тем же препаратам, поэтому при расчете дозировок инсектицида необходимо проводить предварительные лабораторные эксперименты на тех видах, с которыми предполагается вести борьбу.

Полное уничтожение всех стадий развития любых видов кожеедов может быть достигнуто только при фумигации хранилищ или материалов. Из применяющихся в настоящее время фумигантов наилучшими показателями обладает бромистый метил, дающий прекрасный эффект даже при борьбе с диапаузирующими личинками капрового жука. При камерной фумигации могут использоваться такие вещества, как дихлорэтан, парадихлорбензол или карбондисульфид.

Моли-кератофаги (Tineidae, Tineinae). В качестве вредителей зарегистрировано около 30 видов молей, встречающихся в СССР и относящихся к родам: *Tinea*, *Tineola*, *Monopis*, *Trichophaga*. Они повреждают мех, шерсть, запасы сырья, фетровые и войлочные прокладки в приборах, кожаные переплеты старинных книг, тепло- и звукоизоляцию из войлока, зоологические и этнографические коллекции, одежду.

Наиболее опасным и постоянным вредителем, отличающимся способностью к массовому круглогодичному размножению и имеющим большое экономическое значение, является платяная моль (*Tineola biselliella* Humm). Второй по вредоносности для полосы с

умеренным климатом считают шубную моль (*Tinea pellionella* L.).

Повреждения в виде погрызов наносят гусеницы молей всех возрастов. Количество съеденного гусеницей материала за весь период ее развития зависит от вида моли, качества материала, а также от температуры и относительной влажности воздуха. В тонкой платяной шерстяной ткани гусеница прогрызает сквозное отверстие за сутки. При массовом же размножении моли незащищенный материал кератиновой природы может быть уничтожен полностью. Пищевые повреждения моли могут причинять и смешанным тканям, причем иногда едят их более интенсивно, ибо синтетическая нитка не усваивается ими и питательность такой ткани ниже, чем шерстяной.

К непищевым относятся повреждения материалов при строительстве гусеницами паутинных ходов и личиночных чехликов, стенки которых они инкрустируют отгрызенными кусочками материалов, а также при миграциях, вызванных поисками пищи или подходящих мест для окукливания, если повреждаемый материал служит препятствием для их движения. Голодные гусеницы могут повреждать такие непищевые, но доступные их челюстям материалы, как бумага, картон, ткани хлопчатобумажные, льняные и синтетические, пленки поливинилхлоридную и полиэтиленовую, изоляцию телефонных проводов и др.

Бабочки молей не питаются. Они летают в сумерках и первой половине ночи, живут в среднем 7—10 дней и за это время самки откладывают по 60—120 яиц.

Гусеницы молей ведут скрытый образ жизни, строя из шелковых нитей укрытия разных типов. Так, гусеницы меховой моли (*Monopis rusticella* Hb.) плетут вокруг себя шелковую трубочку, в которую включают остатки пищи и экскременты. По мере роста гусеницы этот ход постоянно надстраивается и может достигать 10 см. Иногда гусеницы после линьки начинают строить новый ход. Гусеницы платяной моли скрепляют шелковинкой подгрызенные волоски, в результате чего образуется широкий полог, прикрывающий гусениц сверху. Ковровая моль (*Trichophaga tapetzella* L.) строит ветвистые ходы, расходящиеся во все стороны по материалу. Гусеницы шубной, голубиной и войлочной молей после вылупления из яйца сразу же приступают к постройке переносного чехлика из шелка. У шубной и некоторых других молей линька протекает в чехлике, после чего гусеница строит новый — более крупный. В других случаях гусеницы после каждой линьки надстраивают старый чехлик, вставляя в него при этом с обоих концов пучки нового пищевого субстрата. Если после каждой линьки гусеницам давать субстрат иной окраски, то можно получить чехлики с цветными «ростовыми кольцами».

Для развития шубной и платяной молей оптимальная температура 23—25°, а войлочной выше — 27—28°, для постоянно живущих в птичьих гнездах гнездовой (*Tinea lapella* Hb.), голубиной и других молей — ниже. Их гусеницы выживают и при отрицательных

температурах, при которых платяная и шубная моли довольно быстро погибают. Отношение к влажности различно. Синантропные виды обычно сухолюбивы, а обитатели неотапливаемых помещений влаголюбивы. Большинство видов, обитающих в местах с переменной температурой, дает два поколения в год, таковы гнездовая, голубиная, норовая и другие моли. Войлочная моль в отапливаемых помещениях может давать до четырех генераций в год, у шубной в течение года завершается лишь одно поколение, а у платяной развитие может затягиваться и до нескольких лет.

Окукливание происходит в плотных коконах в самом питательном субстрате (меховая, платяная и другие виды молей) или далеко от мест питания. Например, гусеницы шубной моли перед окукливанием покидают пищевой субстрат и взбираются на потолок, где подвешивают чехлики, зимуют и только весной окукливаются. Известны случаи, когда гусеницы войлочной моли перед окукливанием прогрызали слой известковой штукатурки толщиной до 25—30 мм. Развитие куколки длится 1—2 недели. Шубная и ковровая моли тщательно выбирают место для откладки яиц на пищевом субстрате. Бабочки же платяной моли часто роняют яйца на любой пищевой, а иногда и на непищевой субстрат.

Распространены моли повсеместно, в разных местах меняется лишь набор их видов. Платяная моль стала облигатным обитателем жилья человека. Она — космополит и проникает за человеком даже в места, крайне неблагоприятные для жизни в открытой природе, и, как правило, встречается лишь в постройках человека, где при непрерывном развитии дает в зависимости от температуры 2—7 поколений в год.

У других видов бабочки в весенне-летнее время могут вылетать в открытую природу и давать одно поколение в гнездах птиц вблизи жилья, а осенью бабочки вновь мигрируют в помещение. И, наконец, ряд видов постоянно обитает в гнездах птиц, норах грызунов, на падали. Из природных очагов моли легко переходят на различные пригодные для их питания материалы в жилых и хозяйственных помещениях, часто залетая туда через открытые окна, форточки и двери особенно из птичьих гнезд, устроенных где-либо под крышей, на чердаке, или вносятся с уже зараженными материалами. Вредная деятельность молей в отапливаемых помещениях может продолжаться круглый год, в неотапливаемых — при температуре выше 15°. В СССР зарегистрировано 32 вида молей-нидиолов, обнаруженных в гнездах 46 видов птиц, из них 25 видов — вредители различных материалов.

Среди насекомых, повреждающих меховые и шерстяные изделия, в некоторых случаях на долю молей приходится более половины потерь. Особенно велик вред в южных районах СССР. Борьба с молями, как и другими вредителями, требует комплексного применения профилактических и истребительных мероприятий.

Систематическое поддержание чистоты, проветривание и просушивание помещений, а также поддержание в них низкой температуры предотвращает развитие молей. Хранящиеся товары регуляр-

но, 1 раз в месяц должны просматриваться энтомологом для выявления повреждений молью. Целесообразно использовать механические преграды в виде мелких сеток на окнах, плотной упаковки вещей в бумажные или полиэтиленовые мешки, в которые помещают репелленты.

В случае небольшого заражения сохранению вещей способствует регулярная чистка, сушка на воздухе. При этом удаляются гусеницы, яйца и чехлики молей. Эффективна термическая обработка путем воздействия низких или высоких температур. Низкие положительные температуры препятствуют развитию молей. Промораживание от -15° до -20° в течение 5—10 ч приводит к гибели вредителя. Легче всего это делать в зимний морозный день на открытом воздухе или нагнетая морозный воздух в хранилище. Возможно использование специальных холодильных камер. При повышении температуры до $70-90^{\circ}\text{C}$, которая создается в специальных камерах, гибнут все стадии развития моли.

Современный набор высокоэффективных противомолевых препаратов достаточно велик — ковроль, дермоль, керацид, молемор, супрамид, аэроантимоль. Они выпускаются в таблетированной и аэрозольной форме и надежно защищают шерстяные изделия не только в бытовых, но и в производственных условиях.

Для обеспечения надежной защиты шерсти важно найти возможность связи между реактивными группами шерсти и препаратом с тем, чтобы прочно удерживать инсектицид на шерсти при стирке и чистке. Примером специального препарата типа «бесцветного красителя» может служить митин—N-3,4-дихлорфенил-N'2-(2-сульфо-4-хлорфенокси)-5-хлорфенилмочевина. При обработке митин благодаря сульфогруппе химически связывается с кератином шерсти, а под воздействием пищеварительных ферментов гусениц моли он частично распадается с выделением токсичных продуктов. Обработанная им шерсть практически не отличается от обычной, но гусеницы моли при питании ею гибнут. Многократная стирка и чистка изделий, пропитанных митином, не снижают их токсичности в течение ряда лет.

Сведения о физиологии переваривания шерсти легли в основу еще одного метода защиты, основанного на модификации молекул кератина. В производственных условиях после восстановления дисульфидных цистиновых мостиков шерсть окисляют. При этом формируется очень стабильная бис-тиоэфирная связь: $\text{R}-\text{S}-(\text{CH}_2)_n-\text{S}-\text{R}$. В полученных продуктах алкильная группировка может включать от 1 до 6 атомов углерода, и все модификации оказываются достаточно устойчивы к моли, но подобная обработка, к сожалению, оказалась малоэффективна в отношении кожеедов. Вероятно, здесь сказываются тонкие различия в процессах переваривания кератина этими группами насекомых.

В качестве наиболее эффективных средств уничтожения молей зарекомендовала себя фумигация зараженных изделий, а иногда и целых строений. Как в камерном, так и в палаточном способе наиболее часто используют бромистый метил или этил. При достаточ-

но хорошей герметизации и высокой концентрации эти фумиганты способны проникать в глубь изделий и надежно их обеззараживать, убивая все стадии развития моли и других насекомых.

Насекомые — ксилофаги

В природе с древесиной связаны представители 20 отрядов насекомых. Среди них только личинки жуков и двукрылых распределяются более чем по 60 семействам каждого из этих отрядов. Однако далеко не все ксилобионты являются ксилофагами, а последние, в свою очередь, делятся на комплексы, приуроченные к питанию древесиной, находящейся на определенных стадиях разрушения. В деревянных конструкциях и изделиях создают условия, неблагоприятные для большинства видов ксилофагов, в частности жуков, и только немногие из них могут потреблять очень бедную водой пищу. В древесине, не контактирующей с почвой и имеющей постоянную влажность ниже предела гигроскопичности, могут развиваться только несколько групп жуков: некоторые виды усачей, точильщиков, древогрызов и капюшонников.

Среди усачей такие, как *Criocephalus rusticus* L. и *Callidium violaceum* L., составляют как бы промежуточное звено между типичными обитателями лесов и синантропами, приспособившимися к жизни в древесине построек и мебели. Кроме того, некоторые жуки заселяют как стоящие деревья, так и свежие бревна. Они могут заселять и деревянные конструкции, при условии постоянного или периодического их увлажнения. Личинки могут попадать в дома с зараженным материалом и там заканчивать свое развитие. Настоящие суходревесные личинки настолько хорошо приспособлены к дефициту влаги, что длительное увлажнение древесины для них уже становится неблагоприятным. Из этой группы наиболее опасны точильщики.

Жуки-точильщики. В нашей стране известно около 20 видов точильщиков, вредящих постройкам, мебели, музейным экспонатам и другим изделиям из древесины. Они поражают только выдержанную древесину и не вредны для других материалов, но их деятельность очень опасна для старинных икон, мебели и музейных экспонатов. Не обошли они и такой бесценный памятник деревянного зодчества, как Кижский погост, для сохранения которого сейчас прилагаются большие усилия (Н. А. Персов, 1966; И. Н. Тоскина, 1966; А. И. Воронцов, 1981). В отапливаемых помещениях наибольший вред причиняет мебельный точильщик (*Anobium punctatum* Deg.), являющийся настоящим синантропом и гилофагом. В наших широтах этот точильщик не встречается и без «содействия» человека существовать не может, а в домах встречается почти повсеместно в европейской части СССР, Закавказье, Казахстане и Западной Сибири.

Его массовый лёт бывает в мае — июне, отдельные жуки встречаются до осени. Растянутасть лёта объясняется разной температурой и влажностью древесины, в результате чего развитие длится

разные сроки. Во время лёта происходит спаривание, а вскоре самки начинают откладывать яйца в щели деревянных перекрытий, на неокрашенные, шероховатые, затененные части мебели, в старые лётные отверстия. Самка предпочитает откладывать яйца на торцевую поверхность доски, часто той же самой, из которой вывелась сама. От положения яйца в значительной мере зависит глубина заражения предмета, поскольку личинки, как правило, движутся вдоль годичных слоев, особенно в древесине хвойных.

Из яиц спустя 2—3 недели появляются белые личинки с тремя парами ног и желтоватой головкой. Личинка дугообразно изогнута, ее грудная часть сильно вздута и она кажется горбатой. После начала питания на спинной части появляются многочисленные мелкие шипики, которыми личинка упирается в стенки хода при передвижении. Продольные ходы личинок плотно забиты экскрементами, смешанными с опилками. Взрослая личинка достигает длины 4 мм, а ширина хода — 2 мм. Длительность жизни личинки зависит от температуры и влажности древесины. Перед окукливанием она подходит к поверхности деревянного предмета, оставляя перегородку толщиной около 1 мм, затем отходит немного назад и окукливается в овальной колыбельке. Куколка развивается 2 недели. Весь период развития длится от 6 месяцев (очень редко) до 3—4 лет, поэтому первичное заражение даже специалист может обнаружить далеко не сразу, а лишь после первого вылета жуков. Оптимальная температура для развития личинок 20—22°, а верхняя критическая — 28—30°, при температуре выше 30° они погибают. Оптимальная влажность древесины 18—20%, что практически имеет место в сырых помещениях при относительной влажности воздуха выше 60 %. Нижний предел развития личинок среднего и старшего возраста около 50 %, а для младших личинок около 60 % относительной влажности. Наиболее устойчива к низкой влажности куколка. Низкая влажность воздуха в отапливаемом помещении в зимнее время предохраняет древесину от нападения точильщика.

Мебельный точильщик селится охотнее в старой древесине, срок службы которой 4—6 лет и более. Он поражает столы, стулья, кровати, диваны, шкафы, этажерки, музыкальные инструменты, рамы картин, различные полочки, деревянные оправы различных вещей, даже конторские счеты. Поселяется в плинтусах, подоконниках, оконных рамах, в полах, потолочных балках, в стенах деревянных домов. При этом бревна заражаются только со стороны комнаты.

Борьба с точильщиками сильно затруднена из-за скрытного образа жизни личинок. Надежно обеззараживает изделия лишь тщательная фумигация. Более доступным способом является вымораживание, для чего изделие в зимний период выдерживают не менее 3—5 суток на морозе при температуре от —20 до —25°, в результате чего личинки погибают. В связи со сложностью борьбы особенно важная роль принадлежит профилактическим мероприятиям. Поскольку чаще всего точильщики попадают в помещение со старыми деревянными предметами, необходимо проводить их тщательное обследование и, в случае необходимости, изоляцию и фумигацию. Вто-

рой путь проникновения точильщиков в помещение — залет жуков в открытые окна. Его можно предотвратить, установив в оконных проемах металлическую сетку с ячейками не более 1,5 мм.

Термиты — мелкие или средней величины насекомые, обычно избегающие света и живущие семьями в гнездах, устроенных в земле, древесине или построенных из особого картоноподобного материала. Как и у других общественных насекомых, население гнезда неоднородно. Но в отличие от общественных перепончатокрылых полиморфизм термитов развился на основе неполного превращения и проявляется не только у вполне развитых имагинальных форм, но и у неполовозрелых особей. Поэтому касты термитов обычно более разнообразны и выражены резче, чем, например, у муравьев. В процессе развития все термиты проходят несколько стадий, каждая из которых включает 1 или несколько возрастов. В итоге каж-

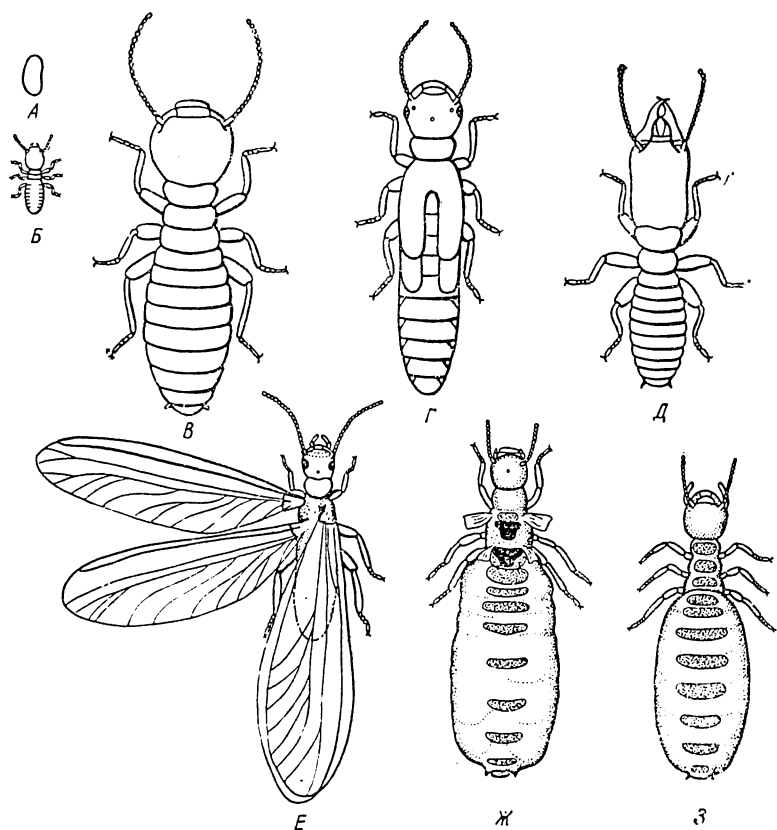


Рис. 28. Касты и стадии развития светобоязливой термиты *Reticulitermes lucifugus* (А—Д по Грды, 1964; Е—З по Weidner, 1955):

А — яйцо; Б — личинка первого возраста; В — псевдоэргат; Г — нимфа последнего возраста; Д — солдат; Е — крылатое имаго; Ж — царица; З — дополнительная (неотеническая) самка

дая особь принимает облик, характерный для определенной касты, специализированной морфологически и функционально (рис. 28).

Из яиц вылупляются личинки без признаков кастовой дифференциации. После нескольких линек часть личинок превращается в нимф, крыловые зачатки которых увеличиваются от возраста к возрасту. Периодически, обычно один раз в год, в гнезде образуются многочисленные крылатые имаго, которые дружно вылетают из гнезда и после кратковременного полета обламывают себе крылья по специальному плечевому шву, отыскивают партнера и парами уходят в укрытие, где основывают новую семью. Этих термитов-основателей называют царской парой. У другой части личинок крыловые зачатки не развиваются, по мере роста эти личинки превращаются в настоящих рабочих или псевдоэргат. Рабочие особи, образующие специальную касту, обычно имеют несколько возрастов и у многих видов могут превращаться в солдат. Эта уникальная особенность кастовой дифференциации термитов является одним из следствий их неполного превращения.

Личинки и рабочие составляют главную массу семьи. Рабочие занимаются сбором корма и доставкой его в гнездо, кормят половых особей, солдат и личинок, заботятся о яйцах и ведут строительные работы в гнезде и за его пределами. Настоящие рабочие — бескрылые, с недоразвитыми мужскими или женскими половыми органами. Они не превращаются в нимф и, соответственно, никогда не достигают половой зрелости.

Каста солдат имеется у всех термитов, за исключением рода *Anoplotermes* (Termitidae). Иногда она представлена одновременно в двух или трех формах. Это бескрылые особи со специализированной формой головы и мандибул. Функция солдат состоит в защите гнезда от внешних врагов, особенно от муравьев и других видов термитов. У разных видов она осуществляется неодинаково: солдат может захватывать и кусать врага мощными мандибулами, затыкать отверстие гнезда головой, как пробкой, либо выпрыскивать секрет лобной железы. Каждому из этих способов соответствует особая морфология головы (рис. 29).

Взаимодействие многочисленного населения термитника и регулирования его кастового состава осуществляется с помощью феромонов. Питаются термиты древесиной, сухими растительными остатками или гумусом. Некоторые виды разводят в термитниках грибы.

Большинство термитов — ксилофаги. В процессах их питания и переваривания древесины принимают участие грибы, бактерии и специализированные простейшие. Грибы представляют для многих термитов существенный компонент питания. Кроме того, многие базидиомицеты, вызывающие коричневую гниль древесины, изменяют ее химический состав, что значительно облегчает термитам переваривание клетчатки и лигнина. Такой древесиной они питаются значительно охотнее и при этом лучше развиваются.

Вместе с пищей термиты заглатывают большое количество разнообразных бактерий, большинство которых (прежде всего аэроб-

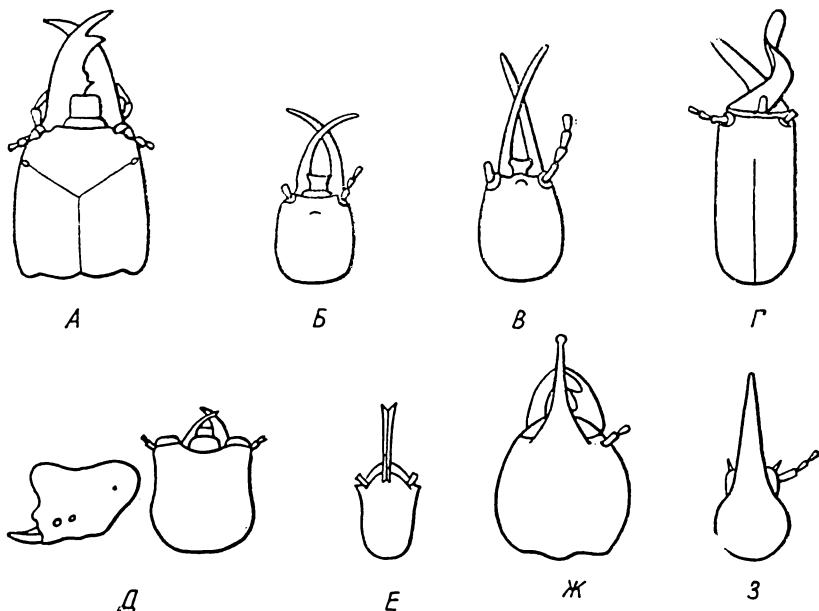


Рис. 29. Формы головы солдат термитов (по Weesner, 1969):

А — *Archotermopsis wroughtoni* Desneux; Б — *Proculitermes niapuenis* Emerson; В — *Angularitermes orthocephus* (Emerson); Г — *Pericapritermes urgens* Silvestri; Д — *Cryptotermes verruculosus* (Emerson), вид сбоку и сверху; Е — *Rhinotermes hispidus* Emerson; Ж — *Armitermes grandidens* Emerson; З — *Angularitermes nasutissimus* (Emerson)

ные формы) погибают в их кишечнике и усваиваются. Лизису грамположительных бактерий способствует наличие в кишечнике лизоцима. Анаэробные, в том числе целлюлозолитические и фиксирующие молекулярный азот бактерии постоянно сохраняются в кишечнике. Между этими физиологическими группами бактерий наблюдается симбиоз, в результате которого повышается интенсивность фиксации азота и гидролиз клетчатки.

В специализированном участке задней кишки низших термитов обитает комплекс симбиотических жгутиконосцев, жизненный цикл которых тесно связан с онтогенезом хозяина. Вместе с разнообразными бактериями жгутиконосцы-ксилофаги и осмотрофы образуют специфический микробиоценоз, все звенья которого тесно связаны между собой трофическими и метаболическими отношениями. Доминирующими видами этого микробиоценоза являются жгутиконосцы, представленные только в таких микропопуляциях, а в других биотопах, как правило, не встречающиеся. Их видовой состав обычно постоянный, хотя, вероятно, среди них можно выделить облигатных и факультативных симбионтов.

Кроме обычных процессов пищеварения, свойственных большинству насекомых, для термитов характерно «общественное пищеварение», т. е. последовательная обработка пищи в кишечнике нескольких особей путем передачи ее друг другу с помощью стомоде-

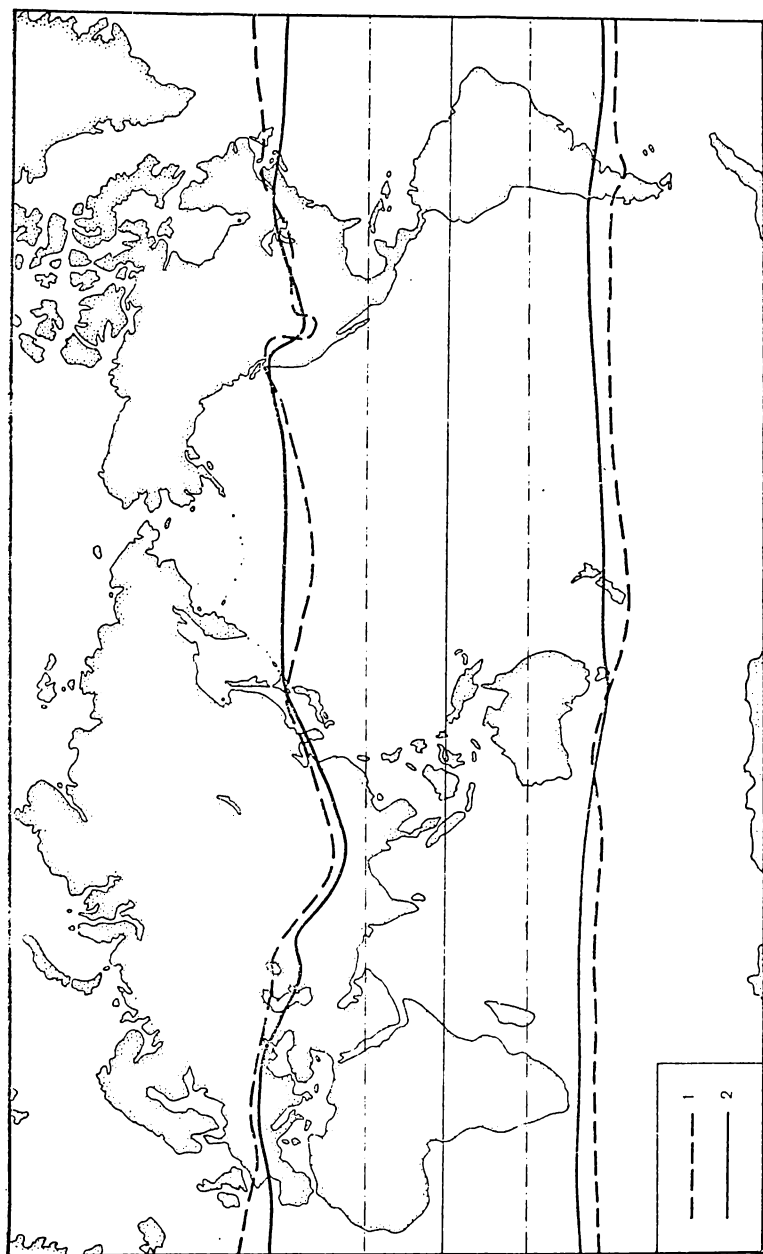


Рис. 30. Ареал термитов:

1 — северная и южная границы ареала, 2 — среднегодовая изотерма $+10^{\circ}$

ального или проктодеального трофаллаксиста. Второй особенностью термитов является их способность переваривать целлюлозу с помощью симбионтов, населяющих толстую кишку.

Переваривание клетчатки осуществляется комплексом ферментов, из которых целлюлазу C_x и β -глюкозидазу синтезирует эпителий средней кишки. Целлюлазу C_1 , воздействующую на нативную целлюлозу, поставляют симбиотические жгутиконосцы-ксилофаги, они же участвуют в переваривании лигнина. В кишечнике термитов, кроме того, обнаружены амилаза, инвертаза и ряд других углеводов, а также некоторые протеиназы.

Количественное соотношение ферментов у разных видов термитов связано с характером питания. Термиты, употребляющие в пищу сильно сгнившие корни и богатую перегноем почву, вырабатывают больше протеолитических ферментов (*A. rhizophagus*, *R. lucifugus*), а термиты, питающиеся сухой травой и древесиной, содержат больше целлюлазы (*A. ahngerianus*, *K. flavicollis*).

Строение кишечника, набор пищеварительных ферментов и наличие симбионтов позволяет большинству термитов употреблять в пищу и усваивать не только древесину и материалы на ее основе, но и такие растительные материалы, как хлопчатобумажные волокна, бумагу, состоящие почти целиком из клетчатки и очень бедные другими питательными веществами.

В целом термиты — теплолюбивые насекомые. Северная и южная границы ареала отряда примерно совпадают со среднегодовой изотермой $+10^\circ$ (рис. 30). В связи с этим термитов часто называют тропическим отрядом.

Чрезвычайное обилие термитов характерно для тропических лесов. В Камеруне на небольшой исследованной площади найдено 43 вида, в Гане на специально выложенных обрезках древесины собрано 32 вида, в экваториальном тропическом лесу в одном из заповедников западной Малайзии только с одного гектара леса собрано 52 вида. Термиты заселяют там все ярусы — от вершины 30-метровых деревьев до почвы, и потребляют живую растительность, мертвую древесину, опавшую листву, гумус и лишайники. На одном гектаре леса обитают в среднем 2—5 млн. особей каждого из доминирующих видов. Термиты утилизируют 20—30%, а местами до 50% опада, что наглядно демонстрирует их роль в детритных пищевых цепях тропического леса. Еще большую активность термиты проявляют в утилизации отмерших веток и стволов. Относительная скорость утилизации древесины тонких веток (диаметром до 6 см) превышает 1. Это означает, что такие ветки полностью разрушаются менее чем за год (рис. 31).

Не менее обильны термиты в саваннах тропической Африки и Азии. Причем если видовое разнообразие их там несколько меньше, то численность в почве оказывается значительно выше, чем в почвах тропических лесов, и достигает в саваннах Африки 4000 особей на 1 м^2 . Такие массы насекомых при строительстве термитников, прокладке подземных ходов и крытых галерей перемещают многие тонны почвенных частиц, нарушая почвенный профиль, модифици-

руя и перераспределяя органический материал, изменяя структуру и скважность почвы за счет прокладки сети подземных ходов. Значение термитов в тропических почвах приравнивают к влиянию дождевых червей на почвы умеренного климата. Строительство многочисленных крупных и мелких термитников придает саванне своеобразный ландшафт, который называют «термитной саванной». Термиты потребляют там около 50% всей годовой продукции растительной биомассы. Вокруг термитников изменяется характер рас-

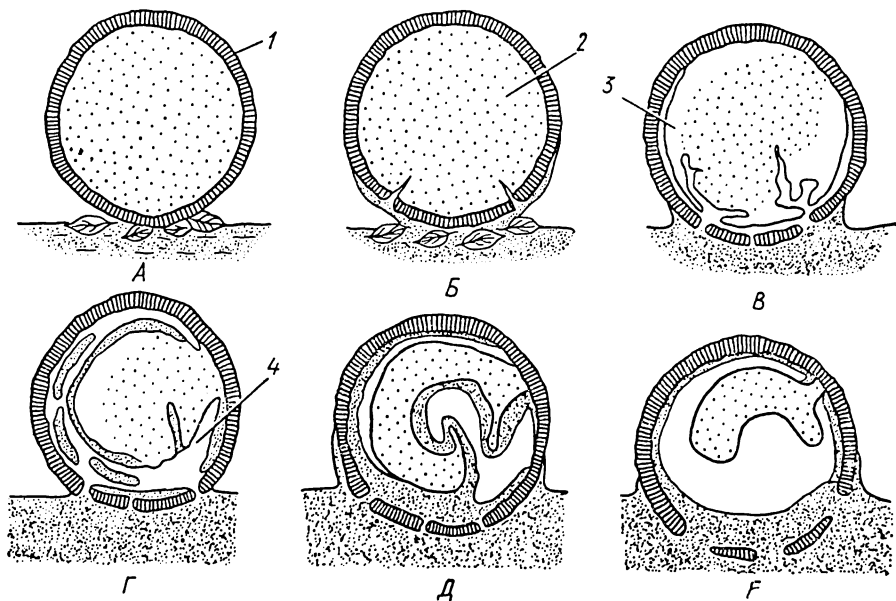


Рис. 31. Стадии разрушения древесины термитами (по Abe, 1975):

А — начальная стадия; Б — проникновение термитов в древесину; В — распространение термитов в древесине; Г — формирование полостей; Д — расширение полостей; Е — снижение активности термитов; 1 — кора; 2 — твердая древесина; 3 — гнилая древесина; 4 — полость

тительности; в них находят убежище многие животные. Это говорит о значительной роли термитов в тропических биоценозах. К этому следует добавить, что сами термиты служат пищей многим животным, среди которых множество птиц, рептилий и особенно муравьев.

Внимательное рассмотрение распространения термитов по зоогеографическим областям приводит к необычным заключениям (табл. 10). В тропических лесах и саваннах размещаются наиболее богатые видами и прогрессивные таксоны. Процесс эволюции идет здесь очень бурно и включает формирование многих новых родов. На периферии же ареала — в субтропических, аридных и умеренных зонах — термиты представлены немногочисленными примитивными древними родами, известными часто по ископаемым формам. Процесс эволюции здесь чрезвычайно замедлен и ограничивается незначительными изменениями внутривидового или видового ранга.

В настоящее время известно около 2000 видов термитов, из которых на территории СССР обитают всего 7, представляющие четыре семейства (Kalotermitidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae).

Желтошей термит (*Kalotermes flavicollis* Fabr.) — единственный представитель суходревесных термитов в нашей фауне. Он заселяет довольно узкую полосу леса на Кавказском побережье, устраивая гнезда в сухих сучьях, стволах и пнях ряда древесных по-

Таблица 10. Филогения и распространение термитов

Филогения семейств и подсемейств		Количество родов (числитель) и видов (знаменатель) в зоогеографических областях *					
		Голарктическая		Восточная	Эфиопская	Неотропическая	Австралийская
		Палеарктика	Неоарктика				
Termitidae	Nasutitermitinae		2/7	16/150	18/50	24/215	8/59
	Macrotermitinae			5/109	12/178		
	Termitinae	1/1		7/59	56/267	21/121	3/32
	Amitermitinae	3/14	5/16	12/59	10/73		7/96
Rhinotermitidae	Indotermitidae			1/3			
	Serritermitidae					1/1	
	Styloptermitidae			1/7			
	Rhinotermitinae		1/1	1/25	1/4	4/12	2/10
	Termitogetoninae			1/2			
	Psammotermitinae	1/1		1/1	1/4	1/1	
	Heterotermitinae	1/5	2/8	2/12	2/3	2/14	1/4
	Coptotermitinae	1/1	1/2	1/23	1/6	1/5	1/12
	Hodotermitidae	2/8		3/5	2/3		
	Stolotermitinae				1/1		1/4
Termopsidae	Porotermitinae				1/1	1/1	1/1
	Termopsinae	1/1	1/3	2/3		1/3	
	Kalotermitidae	3/7	8/19	8/72	9/57	15/107	9/60
	Mastotermitidae						1/1
Всего термитов		13/38	20/56	61/530	114/647	71/480	34/279

* Зоогеографические области даны по А.Г. Воронову (1963).

род, предпочитая грузинский дуб. Очень часто гнезда приурочены к дуплам. Наиболее благоприятная для термитов зона на границе гнилой и еще крепкой древесины. Ходы и камеры обычно выгрызаются диффузно, без определенной системы. В большинстве случаев они преобладают на южной стороне дерева. Семьи немногочисленные, даже в наиболее крупных насчитывается всего 1,5—2 тыс.

особей. Обычно же население гнезда ограничивается несколькими десятками либо сотнями особей. Настоящие рабочие у этих термитов отсутствуют, их функции выполняют псевдоэргаты. Новую семью образует по окончании полета пара крылатых особей. Как и у многих других низших термитов, возможно развитие дополнительных половых особей из молодых нимф, личинок и псевдоэргат. Однако этот способ, часто применяемый в лабораториях для деления и размножения семей, в природе, вероятно, используется термитами только для восстановления и продолжения развития семьи, в которой по тем или иным причинам погибли первичные половые особи или часть семьи. Образовать новую семью в другом месте эти термиты при отсутствии крылатых особей, очевидно, не могут, так как никогда не покидают своего гнезда.

На Черноморском побережье Кавказа *K. flavicollis* — немногочисленный вид, выполняющий роль санитары леса и ускоряющий разложение мертвой древесины. Вместе с тем в последние годы *K. flavicollis* неоднократно находили в городах и пригородах, где он в ряде случаев выступает как вредитель, особенно в садово-парковых насаждениях курортной зоны.

Туркестанский термит (*Anacanthotermes turkestanicus* Jacobs.) в Средней Азии обычен в предгорьях и на равнинах с хорошо аэрируемыми незасоленными или малозасоленными гипсированными лёссовыми почвами и, как правило, отсутствует на такырах, солончаках и в песках. Гнезда этого термита скрыты в земле и обычно не имеют выступающего над поверхностью холмика. Они состоят из многочисленных беспорядочно расположенных камер, соединенных между собой подземными ходами. В центре развитого гнезда камеры расположены обычно более компактно, чем по его периферии. Основная масса камер расположена на глубине 20—60 см, самые верхние из них заняты запасами корма. Открытых выходов на поверхность гнезда (кроме периода вылета крылатых) не имеют. Термиты по подземным ходам расходятся в различных направлениях и выходят на поверхность почвы на некотором удалении от гнезда.

Вполне развитые семьи состоят из десятков тысяч особей всех каст. Зимой и ранней весной семья туркестанского термита состоит из царской пары, множества рабочих, солдат, немногочисленных нимф, крылатых имаго и личинок старших возрастов. Яйца и личинки первого возраста зимой отсутствуют, так как в холодное время года откладка яиц прекращается. Весной, обычно после теплого дождя, крылатые самцы и самки вылетают из родительского гнезда, а новые взрослые особи образуются из нимф только в августе — сентябре, так что в течение всего лета крылатых термитов в гнездах нет. Яйцекладка начинается в мае и продолжается до поздней осени. Пищей туркестанскому термиту служат сухие стебли и веточки растений, которые рабочие особи собирают под прикрытием построенных ими земляных корочек, разгрызают на кусочки длиной не более 2 см и затаскивают через подземные ходы в гнездо.

На неокультуренных землях термиты не приносят заметного вреда, но в населенных пунктах их питание происходит прежде всего за счет разрушения деревянных частей построек. При сильном заражении они пронизывают своими ходами и камерами подпольный грунт, стены, печи, потолочный настил и крышу домов местного типа. Весь дом как бы превращается в своеобразное гнездо термитов. Оно обязательно связано ходами с подпольным грунтом и окружающей дом территорией, особенно в направлении к арыкам. При наличии отопления развитие термитов продолжается круглый год и часто незаметно для жителей.

Землетрясение 1948 г. в Ашхабаде выявило огромную разрушительную роль, которую сыграли термиты, усугубившие последствия этой трагедии. За прошедшие годы города и поселки в республиках Средней Азии сильно изменились. Они застраиваются новыми современными домами из бетона и обожженного кирпича, асфальтируются улицы, благоустраиваются скверы, парки и газоны. Все это несомненно сокращает возможность выживания термитов и доступ их в постройки. Однако и в этих условиях в большинстве районов столицы Туркменской ССР почва сильно заражена этим вредителем, который продолжает свою разрушительную деятельность. Широкое распространение туркестанского термита в городах и поселках Средней Азии существенно повышает экономическое значение этого вредителя.

Большой закаспийский термит (*Anacanthotermes ahngerianus* Jacobs.) распространен в основном там же, где и туркестанский, но на северо-запад заходит дальше и встречается до 47-й параллели, а в восточной части ареала он редок и уступает место туркестанскому термиту. Наибольшая плотность гнезд приурочена к равнинам со светлой сероземной почвой и богатой пересыхающей летом растительностью.

Вылет крылатых имаго из гнезда происходит весной, обычно в апреле — мае, в дневные или вечерние часы, после дождя. Полет термитов довольно слабый, и они не разлетаются далеко от гнезда, если их не сносит ветром. Через некоторое время они опускаются на землю, обламывают крылья и начинают быстро бегать в поисках партнера.

Гнездо закладывается парой основателей в виде вертикальной или наклонной норки (ход I порядка) с отходящими от нее камерами I порядка. По мере развития семьи от верхних камер прокладываются новые вертикальные ходы с камерами. Вынесенная почва образует очень низкий правильный конус диаметром основания до 50 см, в котором устраиваются плоские камеры II порядка, внутри гнезда продолжается строительство новых камер и ходов. Постепенно и очень медленно холмик нарастает в высоту и в диаметре и принимает форму купола. Пока холмик низкий, термиты под его поверхность распределены более или менее равномерно. С ростом холмика внутри него меняется температурный режим: юго-восточная часть прогревается сильнее северо-западной. В весеннее время термиты размещаются в более прогреваемых каме-

рах, а в холодные северо-западные камеры оттаскивают экскременты. Жилая же часть холмика (капсула) ежегодно после вылета крылатых термитов покрывается свежими земляными корочками и за счет этого постепенно нарастает. По мере роста форма холмика становится асимметричной, его вершина постепенно сдвигается на юго-восток, а в северо-западной части остается длинный шлейф, камеры которого заполнены старыми перегнившими экскрементами.

В таком развитом термитнике создаются своеобразные экологические условия, способствующие нормальному функционированию семьи. Микроклиматические условия в термитнике заметно отличаются не только от наземных, но и от почвенных.

Развитая семья большого закаспийского термитника насчитывает более 30 тыс. особей, основную массу которых составляют личинки различных возрастов и рабочие. Количество солдат сильно колеблется в разных семьях и, вероятно, зависит от подверженности термитника нападению различных врагов, в первую очередь муравьев. Состав населения гнезда меняется по сезонам года. Весной и осенью в гнезде насчитывается наибольшее число крупных рабочих. Летом многие из них заняты сбором корма вне гнезда, появляются яйца, многочисленные личинки и нимфы разных возрастов. Осенью образуются зимующие в гнезде крылатые особи. Основную пищу большого закаспийского термита составляют сухие стебли травянистых растений и кустарников. Рабочие собирают корм обычно под прикрытием тонкой корочки, которую они лепят из комочков почвы, смачивая их выделениями из зоба с примесью слюны. Максимальная интенсивность лепки наблюдается в дневные часы. Эти термиты живут не только одиночными семьями, но и объединяются в целые колонии, в пределах которых наблюдается перемещение термитов и корма. Колониальный характер поселений и возможность походов на значительные расстояния позволяют термитам использовать для сбора корма большие площади. Практически за летний сезон термиты могут полностью уничтожить на заселенной ими территории все сухие остатки травянистых растений.

Большой закаспийский термит является характерным и важным элементом биоценоза глинистых пустынь. Он существенно изменяет структуру и состав почвы, активно участвует в разложении растительных остатков и служит важным звеном цепей питания. В природных условиях *A. ahngerianus* не оказывает заметного вредного воздействия на вегетирующую пастбищную растительность, хотя в некоторых местах может угнетать кустарники и пескоукрепительные насаждения.

Большой закаспийский термит хуже туркестанского приспосабливается к жизни в населенных пунктах, и поэтому вред от него менее значителен. Однако в городах и поселках западной Туркмении этот вид является, вероятно, основным вредителем построек, создает угрозу провалов деревянных перекрытий, крыш и полов. Многочисленные повреждения этими термитами телеграфных столбов, железнодорожных шпал и различных гидротехнических соору-

жений неоднократно наблюдались в различных районах Туркмении.

Светобоязливый термит (*Reticulitermes lucifugus* Rossi) на юге Украины, в Азербайджане и Армении обычно устраивает гнезда в старых пнях, в основании засыхающих деревьев, кустарников, а также кустарничков и многолетних трав. В почве жилые камеры обычно находятся на глубине не более 50 см. В маленьких пенях и вокруг кустиков термитов обычно немного, но в крупном пне может концентрироваться семья, насчитывающая многие тысячи особей. В местах, благоприятных для развития и богатых пищей, термиты могут образовывать огромные колонии с множеством дополнительных половых особей. Границы отдельных семей при этом нечеткие. Подобные разрастания колоний, очевидно, происходят при заражении термитами жилых домов и различных деревянных построек. Половые особи и яйца не сконцентрированы в специальных камерах, а встречаются в самых различных частях гнезда как в древесине, так и в почве. Такое диффузное строение гнезда способствует образованию дочерних семей, которые легко возникают при отделении части семьи и развитии в ней дополнительных половых особей. Этому способствует необычайная пластичность развития большинства членов семьи и высокая жизнеспособность малых групп. Все это обуславливает и сравнительно легкое культивирование светобоязливой термита в лаборатории. Следующей особенностью этого термита является образование в больших семьях многочисленных дополнительных половых особей при наличии активно функционирующей царской пары. В результате крупные семьи насчитывают часто больше десятка яйцекладущих самок, что резко увеличивает прирост численности. Лёт крылатых термитов на территории СССР происходит в апреле — мае и определяется погодными условиями сезона. Часто вылет происходит партиями в течение многих дней.

Светобоязливый термит охотнее питается древесиной, разрушенной коричневой гнилью, но нападает также и на совершенно здоровые контактирующие с почвой доски, бревна и другие деревянные детали. Значительные разрушения домов светобоязливом термитом отмечены в Николаевской, Одесской и Херсонской областях, сильно заражены им многие дома Измаила. *R. lucifugus* может значительно ускорять гибель виноградной лозы, фруктовых и парковых насаждений. Хотя экономический ущерб от всех повреждений этим термитом никем не подсчитан, опасность его очевидна.

Дальневосточный термит (*Reticulitermes speratus* Kolbe), завезенный во Владивосток, вероятно, несколько десятилетий назад, давно известен в Японии и Южной Корее. Он отмечен также в некоторых районах Китая. В Японии ареал *R. speratus* доходит на севере до городов Саппоро и Асахигава на Хоккайдо, расположенных несколько севернее изотермы января —4°, которая считается северной границей распространения отряда. В Японии гнезда этого термита в природе находят в старых пнях сосны и других деревьев. Семьи насчитывают от нескольких сотен до нескольких тысяч осо-

бей. Они часто объединяются в колонии численностью 20 и даже 30 тыс. термитов. В таких колониях одновременно присутствуют до 50 неотенических самок.

Во Владивостоке с 1969 г. термиты были обнаружены в жилых домах и служебных зданиях, в основном дореволюционной застройки, сосредоточенных в одном из старых кварталов города. Их находили в одноэтажных, реже — в двух- и трехэтажных домах без вентилируемых подполий. Термиты обычно концентрировались в стенах, полах, потолочных перекрытиях, оконных и дверных коробках, редко поднимаясь выше второго этажа. Некоторые ветхие строения были приведены термитами в полную негодность, так что их пришлось снести.

В природе в окрестностях города и в других районах Приморья, несмотря на специальные поиски, термиты ни разу не были обнаружены, хотя в городе они способны некоторое время сохраняться в остатках снесенных домов и в надворных постройках без всякого отопления.

Два представителя высших термитов *Amitermes rhizofagus* Bel. и *Microcerotermes turkmenicus* Lurr. встречаются на территории Туркмении, довольно редки и большой численности не достигают, в связи с чем размер ущерба, который они могут причинять деревянным элементам строений, невелик.

Экономическое значение термитов неуклонно возрастает. Точного учета потерь от их разрушительной деятельности нет ни в одной стране. Наиболее детальные оценки проведены в США, где, по данным 1938 г., ежегодные потери составляли 40 млн. долларов; в 50-х годах — 100; в 60-е годы эта сумма возросла до 250, а в 70-е — до 500 млн. долларов; расчеты 1982 г. дают сумму 1,17 млрд. долларов (рис. 32). Только в одном из обследованных городов штата Техас термитами повреждено 97% старых домов. А ведь в США термиты не очень многочисленны и не представлены наиболее агрессивными тропическими видами.

Вместе с тем опасения инженеров и конструкторов часто напрасны и перестраховки необоснованны, поскольку они не учитывают ряда физиологических и экологических особенностей термитов. Их отличает от других вредителей материалов и конструкций прежде всего общественный образ жизни. Обитание термитной семьи в постоянных гнездах привлекает всех ее членов к определенному месту. Вылет крылатых особей из гнезда происходит один раз в году, и без помощи ветра они не могут улететь далеко от гнезда.

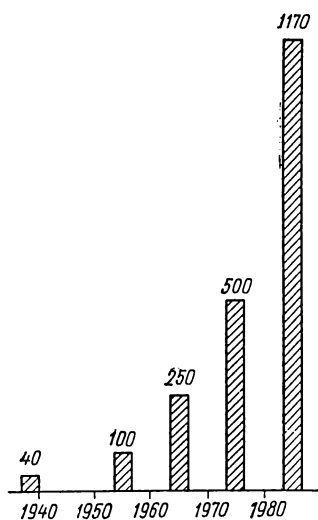


Рис. 32. Экономический ущерб от термитов в США

В течение всего периода пребывания вне гнезда имаго не питаются. Затем почвенные термиты-основатели выкапывают норку, а имаго древесных видов обязательно вгрызаются в древесину.

Таким образом, термиты-основатели почвенных видов вообще не могут причинять вреда никаким материалам. В случае массового вылета крылатые особи могут попадать в различные устройства и аппаратуру и загрязнять их. Однако при этом вред от них не больше чем от любых других непитающихся насекомых. Некоторые суходревесные виды могут заражать при расселении деревянные конструкции, однако к обитающему у нас *K. flavicollis* это не относится.

Основные вредящие касты и стадии развития у всех термитов бескрылы. Случайно попавшие на пищевой материал единичные особи, как правило, не могут выжить сколько-нибудь длительный срок и заметного вреда причинить не могут. Для удовлетворительного существования термитов кроме соответствующих внешних условий должна быть обеспечена некоторая минимальная численность особей, разная для каждого вида. У низших термитов даже в малочисленных изолированных группах могут образовываться дополнительные половые особи, что приводит к развитию новой семьи и усилению вреда.

В образе жизни почвенных и суходревесных термитов имеются существенные с точки зрения биоповреждений различия. Суходревесные термиты выгрызают камеры и ходы только в древесине и за ее пределы, как правило, не выходят. Их бесплодные касты могут попасть в строение или другие конструкции только вместе с деревянными деталями и предметами. Повреждения суходревесными термитами непищевых материалов возможны лишь при непосредственном контакте этих материалов с зараженной древесиной.

Почвенные термиты в поисках корма могут уходить на значительные расстояния от гнезда. При этом они способны прогрызать многие непищевые материалы, встречающиеся на их пути. При строительстве лепных галерей термиты залепляют землей различные полости и могут загрязнять многие аппараты и приборы. Эти термиты, имея большие семьи, широко распространяются по всему строению, образуют многочисленные колонии, в результате чего существенно увеличивается наносимый ими ущерб.

Большинство исследователей концентрирует внимание на повреждениях термитами различных материалов. Это обосновано тем, что изготовленные из них изделия очень разнообразны, а конструкции их часто меняются. Вместе с тем от конструкции изделия в очень сильной степени зависит возможность его повреждения различными вредителями. Наибольшей устойчивостью обладают изделия, лишенные привлекающих термитов пищевых материалов. Те же изделия, которые включают древесину или другие пищевые для термитов материалы, можно сгруппировать

по степени подверженности нападению термитов и способам защиты в следующие 5 типов:

1. Полностью изолированные изделия. Этот тип объединяет изделия, в которых древесина или другой пищевой материал постоянно изолирован от возможного контакта с термитами другим, несъедобным и не привлекающим их материалом. Сюда относятся герметизированные изделия, кабели и т. п. В тех случаях, когда внешняя оболочка непроницаема для термитов, никакой дополнительной защиты не требуется. Примером может служить какой-нибудь бронированный силовой кабель с бумажной изоляцией токоведущих жил.

2. Изделия, изолированные от почвы. В эту группу попадают деревянные элементы современных строений из бетона и камня, мебель и прочие предметы, находящиеся в таких помещениях, куда термиты не могут проникнуть из почвы. Эти конструкции могут быть повреждены только суходревесными термитами, которые, как уже упоминалось, в нашей стране не вредят. В связи с этим специальная защита таких изделий не предусматривается.

3. Передвижные изделия. На территории нашей страны все изделия на колесах в период их эксплуатации практически недоступны термитам. Лишь в особых случаях требуется их защита.

4. Изделия, контактирующие с почвой вне жилья человека. Железнодорожные шпалы, столбы линий связи, мосты и гидротехнические сооружения требуют обязательной защиты древесины от гниения. Ее осуществляют обычно с помощью глубокой заводской пропитки каменноугольным маслом, или креозотом. Пропитанная маслом древесина в течение многих лет отпугивает термитов и вследствие этого не повреждается.

5. Жилые и промышленные постройки наиболее сильно страдают от термитов. Из обитающих на территории нашей страны 7 видов термитов причинять существенный ущерб способны 4. Среди них два вида представлены жнецами — туркестанский и большой закаспийский термиты — и два — влажнодревесными термитами (светобоязливый и дальневосточный). Обе эти группы принадлежат к почвенным термитам, гнезда которых располагаются целиком или частично в почве. В соответствии с распространением указанных видов на территории нашей страны выделяются достаточно четко три зоны вредоносности (рис. 33). У термитов-жнецов зона вредоносности практически совпадает с ареалом. Для влажнодревесного светобоязливого термита, распространенного на юге СССР от западной границы до Каспия, повреждения строений отмечены только в городах и поселках прибрежных областей Украины от Измаила до Херсона. Возможно, проявление его вредной деятельности в строениях связано с повышенной влажностью воздуха в прибрежной зоне обитания. Другой влажнодревесный термит — дальневосточный — вредит только во Владивостоке.

По защите строений от термитов проводится большая работа, разработаны специальные инструкции (К. Какалиев, 1983). Рассмотрим основные принципы проведения необходимых защитных мероприятий.

Многолетний опыт борьбы с термитами показывает, что надежнее всего можно защитить здание, правильно его спроектировав и построив. Значительно больших затрат требует борьба с термитами в уже поврежденных строениях. При строительстве

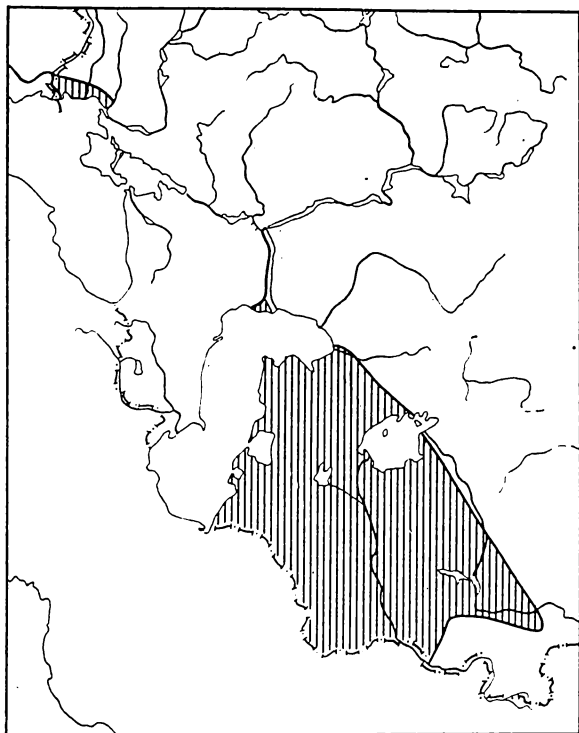


Рис. 33. Зоны вредоносности термитов на территории СССР

любого здания с целью защиты его на длительный срок от повреждения почвенными термитами решают две задачи: уничтожение термитов в почве непосредственно под зданием и предотвращение их доступа в строение из окружающей почвы.

Решение первой задачи при строительстве крупных зданий, под которые роют котлован глубиной 1,5 м и более, выполняют при производстве земляных работ, когда вместе с грунтом удаляются и термиты. В тех случаях, когда грунт снимают на меньшую глубину, или удаляют только культурный слой почвы, необходимо проводить химическую обработку грунта сильно и длительно действующими хлорорганическими ядохимикатами.

Вторую задачу решают путем применения комплекса конструктивных решений. Здание строят на каменном фундаменте и опорах, с высоким цоколем, сложенным из обожженного кирпича или камня на сложном растворе с высокомарочным цементом, или применяя сплошное железобетонное основание, уложенное на протравленный инсектицидами грунт. Вокруг здания грунт протравливают на большую глубину и поверх него делают вокруг цоколя бетонную или асфальтовую отмостку. Протравленный грунт, скрытый под зданием и отмосткой, сохраняет защитное действие многие годы. Периодические осмотры зданий, своевременный ремонт, содержание в чистоте подвалов и окружающей территории способствуют длительному сохранению построек.

Борьбу с термитами в зараженных ими домах следует приурочить к капитальному ремонту. В этом случае решают те же задачи, что и при строительстве нового дома, и применяя практически те же приемы. Поскольку изолированные от расположенного в почве гнезда термиты-жнецы в деревянных частях здания размножаться не могут, усиления их вреда не происходит. Но почву эти термиты используют также и для пополнения запасов влаги. Лишенные этой возможности термиты в сухом климате Средней Азии довольно быстро погибают. Поэтому никакой химической обработки самих деревянных конструкций в данном случае не требуется.

На юге Украины термиты не имеют сплошного распространения, а встречаются отдельными очагами. Поэтому в комплексе защитных мероприятий здесь важно проведение обследований населенных пунктов и насаждений с целью выявления насекомых. Кроме мер, описанных для среднеазиатских термитов, необходимо учитывать приуроченность светобоязливому термиту к влажной почве. В связи с этим в сырых местах рекомендуют провести вокруг здания дренажные работы, обеспечить хорошую вентиляцию подполья и покрыть грунт под домом гидроизоляционным материалом. Все эти мероприятия одновременно предохраняют здание от поражения грибами. Учитывая малые размеры светобоязливому термита, следует особенно тщательно заделывать все щели и трещины в нижней части дома.

У светобоязливому термита значительно быстрее, чем у жнецов, формируются дополнительные половые особи, и изолированные части семьи, находящиеся внутри дома в древесной трухе, во влажных приморских районах могут довольно длительное время существовать в отрыве от почвы и даже размножаться, продолжая разрушать деревянные элементы здания. Поэтому здесь необходимо проводить чрезвычайно трудоемкие истребительные мероприятия внутри здания, которые также удобнее совмещать с капитальным ремонтом. При этом заменяют пораженные термитами деревянные детали новыми, проводят глубокую обработку всех деревянных элементов здания соответствующими защитными средствами.

Биомеханика повреждения материалов насекомыми на примере термитов

В настоящее время оценка стойкости материалов к повреждению насекомыми производится на основе длительных и трудоемких биологических испытаний. Однако эту задачу можно решать и по-иному — выяснять круг материалов, не поддающихся грызению, сопоставляя их физико-механические свойства с особенностями ротового аппарата. В тех случаях, когда и материал, и челюстной аппарат подвергаются абразивно-механическому износу, необходимо знать и учитывать весь комплекс биомеханических свойств ротового аппарата. Рассмотрим их на примере большого закаспийского термита, имеющего мандибулы перетирательного типа (рис. 34).

Мандибулы — морфологически наиболее пластичные и самые функционально напряженные элементы грызущих ротовых орга-

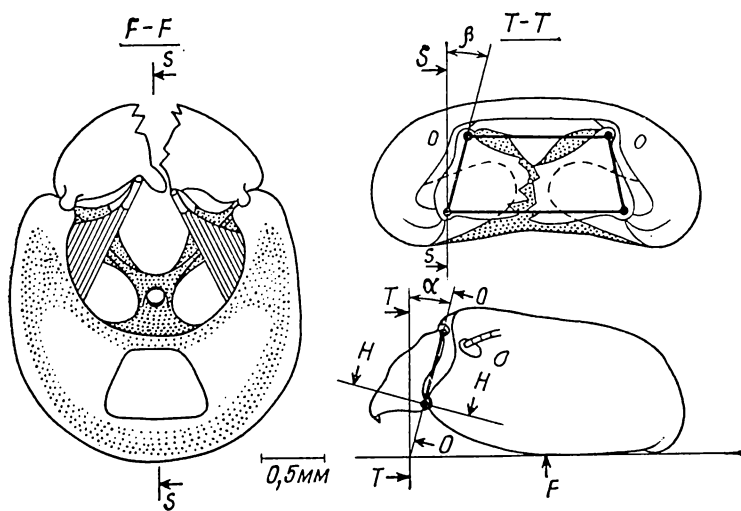


Рис. 34. Головная капсула большого закаспийского термита (рабочего последнего возраста) в трех основных плоскостях (условные обозначения в тексте)

нов насекомых. У рабочих термитов мандибулы полифункциональны, они участвуют в заготовке и переработке корма, прокладывании ходов, строительстве и защите гнезд, кормлении и транспортировке личинок.

Передний край головной капсулы термита, к которому причленяются мандибулы, образует открытую спереди трапецевидную арку. В ее углах располагаются шарнирные сочленения мандибул с головной капсулой. Верхний мышелок представляет со-

бой шарнирную выемку, а нижний — шарнирный выступ. Между их центрами проходит сочленовная ось, вокруг которой поворачивается мандибула. Сочленовные оси обеих мандибул наклонены относительно фронтальной плоскости назад, а также к средней линии головы.

Мандибулы рабочих термитов по форме несколько напоминают трехгранную пирамиду. Большую часть их объема занимает открытая в основании полость. На медиальной стороне мандибула имеет апикальный и маргинальный зубцы, инцизорную долю и молярный выступ с ребристой площадкой. Эти образования отлича-

ются сильной пигментацией и наибольшей твердостью (рис. 35). К медиальной стороне мандибулы крепится большое четырехлопастное сухожилие, которое резко увеличивает площадь крепления приводящей мышцы. Правое и левое сухожилия двигаются параллельно друг другу и при любом положении мандибул почти не поворачиваются.

Приводящие мышцы мандибул имеют перистое строение и достигают громадной мощности, заполняя большую часть головной капсулы. Дополнительная парная приводящая мышца (тенториальный аддуктор) идет от нижнего края треугольной пластинки тенториума внутрь мандибулы и крепится на ее нижней стороне. Она еще больше усиливает сжатие мандибул.

Характер работы мандибулярного аппарата как режущего инструмента определяется элементами вращательного и возвратно-поступательного движения самих мандибул (главное движение инструмента) и вспомогательными поступательными движениями

подачи, осуществляемыми головой термита. Поэтому, характеризуя грызение как режим резания, можно провести функциональную аналогию мандибул термита с инструментами, которые осуществляют главное движение и движение подачи при неподвижной обрабатываемой заготовке. В работе отдельной мандибулы можно найти элементы, присущие резанию заготовки круглой пилой, фрезой, резцом строгального станка, однако для совместного действия обеих мандибул технических аналогий не имеется.

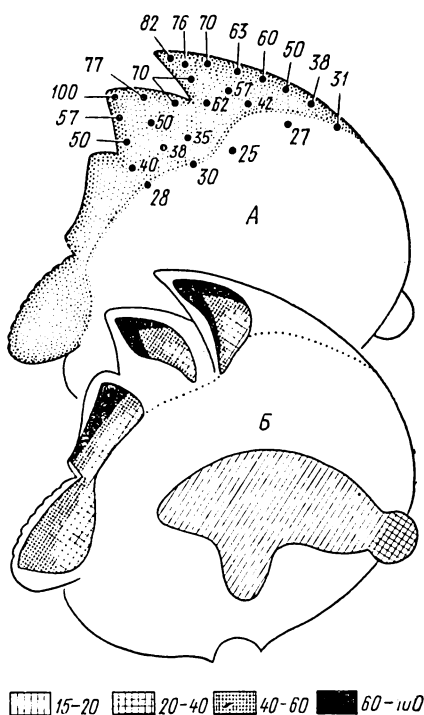


Рис. 35. Микротвердость мандибул рабочего термита *Anacanthotermes ahngerianus*, измеренная на поверхности кутикулы (А) и шлифах (Б)

Форма и размеры образца определяют три основных варианта приложения к нему мандибул: полный захват, когда размеры образца или какой-нибудь части не превышают максимального расхождения инцизорных долей мандибул; неполный захват, когда вершины мандибул прикладываются к углу или выступающей части образца, и отсутствие захвата, когда обе мандибулы прикладываются к одной плоскости или поверхности с достаточно большим радиусом округления. В первом случае основную работу выполняют инцизорные доли, апикальный и маргинальный зубцы мандибул выполняют работу резания во втором и третьем вариантах приложения мандибул.

Большой закаспийский термит в природе питается сухой растительностью. Значительную долю корма составляют стебли злаков, тонкие веточки полыни и различных кустарников, которые рабочие-фуражиры способны срезать, сжимая между мандибулами. При срезании тонких стеблей главная нагрузка ложится на инцизорные доли, приспособленные именно к такой функции. Они имеют вогнутую форму, способствующую зажиманию стебля при перекусывании, а их режущие лезвия «заточены» по вогнутой кривой, что значительно снижает усилие резания.

На апикальном и маргинальном зубах мандибул термита можно различить все характерные элементы резца. Прежде всего следует отметить наличие хорошо развитой главной режущей кромки. Ею является нижнее, обращенное внутрь ребро трехгранного угла, которому можно уподобить каждый из зубцов мандибулы. Верхнее, менее резко заостренное ребро служит вспомогательной режущей кромкой. Между главной и вспомогательной кромками находится передняя поверхность, имеющая небольшую продольную выпуклость и образующая вдоль главной режущей кромки узкий и довольно глубокий желобок. Остальная поверхность зуба равномерно выпуклой формы. Поэтому главная и вспомогательная задние поверхности отчетливо не обозначены, плавно переходят одна в другую и сходятся на вершине зуба с определенным радиусом закругления. Последний зависит от продолжительности жизни термита данного возраста, поскольку со временем вершины зубцов сильно стачиваются.

Главные режущие кромки апикального и маргинального зубцов дугообразно изогнуты. Их дистальные концы выходят к вершинам соответствующих зубцов, а проксимальные сближаются между собой. Режущие кромки бывают особенно острыми непосредственно после линьки, а с течением времени значительно стачиваются. Перед откусыванием кусочка древесины рабочий термит обычно обследует пищевой материал усиками и щупиками, затем вонзает в него апикальные зубцы максилл и прижимает к нему голову. После этого начинают работать мандибулы. При сжимании их голова отходит немного назад, а максиллы, играющие роль фиксаторов, удерживают ее.

В момент откусывания верхняя губа термита поднята, а нижняя загнута и частично втянута. Отгрызанные кусочки пищи по-

падают на нижнюю губу и гипоглотис передает их к молярным пластинкам, где происходит раздробление пищи и смачивание ее слюной. Молярная поверхность левой мандибулы вогнутая, а правой — выпуклая. При перетирании пищи обе пластинки действуют, как жернова, при этом правая, более длинная, проталкивает больший путь по сравнению с левой, и именно она своим выступающим концом проталкивает измельченную пищу в ротовую полость.

Основу кинематики грызения всегда составляет встречное вращательное движение правой и левой мандибул. При смыкании мандибул инцизорные доли осуществляют процесс косоугольного парного резания, при котором разрезание материала осуществляется одновременно двумя режущими кромками, движущимися навстречу друг другу с изменяющимся при этом углом между ними. В принципе этот механизм подобен рычажным ножницам, но мандибулы вращаются не на одной, а на двух самостоятельных осях.

В большинстве случаев термит не может срезать стебель одним движением и применяет ритмичные смыкания челюстей. При этом фиксация головы термита максиллами позволяет ему прикладывать режущие части последовательно к одному и тому же месту стебля, что обеспечивает наиболее быстрое его перекусывание.

С помощью специального устройства получены записи динамической картины процесса грызения в виде гнатограмм, отражающих циклы сжатия мандибул (рис. 36). На них выделяются три основных процесса с частотами 3, 1 и 0,4 Гц, из которых наиболее часто реализуется второй или же комбинация всех трех. В случае

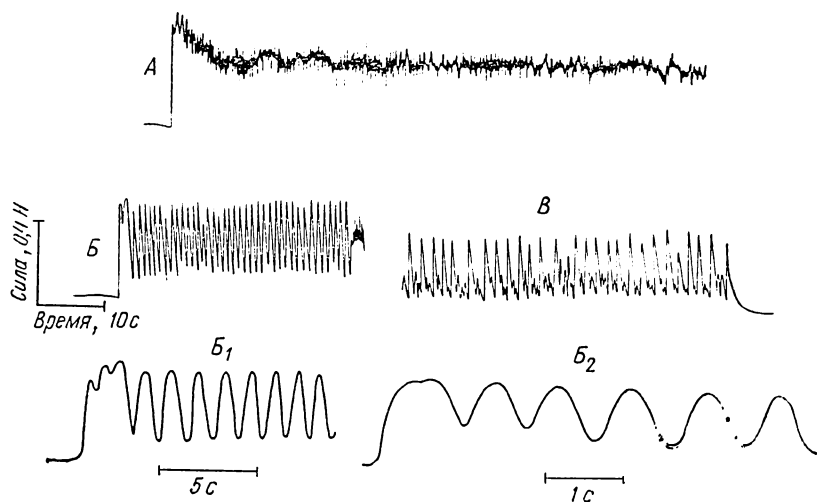


Рис. 36. Осциллографические гнатограммы трех динамических процессов грызения:

А — высокочастотный процесс; В — среднечастотный процесс; В₁ и В₂ — среднечастотный процесс на увеличенных скоростях развертки

кусания твердого, неподдающегося грызению объекта (например, медной проволоки) термит способен непрерывно сжимать и разжимать мандибулы в таких режимах в течение нескольких минут, не выпуская объекта. Сила сжатия мандибул возрастает с увеличением размеров тела термитов и у наиболее крупных рабочих особей может достигать 1 Н. Средние же значения максимальной силы сжатия мандибул для рабочих V, VI и VII возрастов составляют соответственно 0,12; 0,28 и 0,48 Н.

Оптимальные условия срезания стебля складываются в случае перпендикулярного положения лезвия к оси стебля. Именно так располагает термит ротовые органы при перегрызании стеблей. Наконец, вполне оправданной оказалась и достаточно малая скорость резания — около 0,5 м/мин, которую используют термиты при смыкании челюстей, так как с ее увеличением резко возрастает усилие резания стебля. За счет подвижности головы и захвата перегрызаемого предмета максиллами термиты подбирают с поверхности почвы и легко стригут на мелкие кусочки всевозможные веточки и соломинки, разрезая их всегда перпендикулярно продольной оси.

Такая приспособленность позволяет термитам с помощью инцизорных долей мандибул разрезать всевозможные волокнистые материалы. При этом рыхлые тонковолокнистые материалы (вата, ватин) термит режет с трудом. Захватив небольшой пучок волокон и выдернув его из основной массы, он долго перетирает его мандибулами. Заметно легче он стрижет волокна в более плотных материалах типа войлока. Очевидно, это связано с более жестким закреплением одиночных волокон в таких материалах. Этот же фактор оказывает большое влияние на резание нитей. Как известно, натянутая нить с жестко закрепленными концами перерезается ножницами значительно легче, чем свободная, ненапрянутая. При одинаковом натяжении термит легче перерезает тонкие некрученые нити. Успешному перекусыванию толстых и прочных нитей помогает способность термита к длительным периодическим смыканиям мандибул без изменения точки приложения их усилий резания. Благодаря этому при каждом смыкании мандибул инцизорные доли разрезают некоторое число волокон до тех пор, пока не перережут всю нить. Поэтому термиты способны разрезать нити любой толщины, которые они могут захватить мандибулами. Различие между повреждениями тонких и толстых нитей состоит лишь во времени их перекусывания. В полной мере это относится не только к гибким растительным или синтетическим волокнам, но и к стеклянным, обладающим в микромасштабе значительной упругостью и прочностью на разрыв, на несколько порядков более высокой, чем у литого стекла. При сжатии стеклянной нити между инцизорными долями мандибул происходит хрупкое разрушение (излом) волокон, что в итоге приводит к перекусыванию всей нити.

Как показывают биологические испытания, термиты способны повреждать любые ткани из натуральных, искусственных, синте-

тических и стеклянных волокон. Однако скорость повреждения различных тканей неодинакова. Основные свойства, влияющие на их устойчивость к термитам, те же, что определяют прочность тканей при резании ножницами или штампами: крутка нитей, вид их переплетения, плотность и толщина материала. С учетом масштабного фактора на первый план выступает доступность отдельных нитей или небольших их пучков захвату мандибулами. Наиболее устойчивыми оказываются очень плотные и ворсистые ткани. Некоторые виды стеклотканей, парусины, бархат повреждаются в середине полотна особенно медленно. Возможно, в этих случаях начало резания осуществляют не инцизорные доли, а апикальные зубцы мандибул, и лишь после того, как будет обеспечен надежный захват нитей, вступают в работу инцизорные доли.

Синтетические и целлюлозные пленки, а также тонкие пластиковые слюды термиты обычно повреждают с краев или в местах складок. Принцип резания этих материалов такой же, как волокон, хотя в процессе прокусывания обычно участвуют не только инцизорные доли, но и зубцы мандибул. Текстильные ткани с пластиковым или латексным покрытием, а также сложные пленочные материалы, армированные тканью, термиты также способны повреждать с краев, используя ритмичные смыкания челюстей и отрыв откусанных частиц движением головы или всего тела. Такие материалы, как правило, повреждаются медленнее, чем простые ткани или пленки, но устойчивых среди них не найдено. Часто термиты таким же способом выгрызают с краев бумагу, хотя ее, как и картон, они способны повреждать и на плоскости. При этом используется слюна, смачивающая и размягчающая бумагу в месте ее прогрызания.

Разрушение мандибулами термита газонаполненных пластмасс происходит в зависимости от микроструктуры материала и его эластичности по типу грызения пленок или рыхлых волокнистых материалов. Пористая структура пенопластов, как правило, создает благоприятные условия для внедрения в материал мандибул и фиксации в нем максилл. При внедрении в материал мандибулы сжимают большее или меньшее число пленочных стенок (ячеек). При этом может происходить резание части пленок или сжатие без разрушения. В последнем случае термит старается оторвать захваченную частицу материала движением головы или всего тела. От некоторых пенополиуретанов ему удастся отрывать довольно крупные куски размером с его голову и даже больше, что обеспечивает быстрое внедрение в материал и выгрызание в нем обширных полостей. Жесткие пенопласты разрушаются меньше эластичных, при этом прослеживается некоторая связь степени повреждения материала с его кажущейся плотностью и условным пределом прочности. С возрастом этих значений материалы становятся более устойчивыми.

Таким образом, морфологические, инструментальные и динамические характеристики мандибул с учетом биологических осо-

бенностей фуражиров — жнецов (захват максиллами и ритмичное кусание мандибулами) обеспечивают перекусывание всевозможных волокнистых, пленочных и пористых материалов.

Большинство термитов питаются древесиной и могут повреждать деревянные детали строений. Из механических характеристик наибольшее влияние на обработку древесины оказывает твердость. Уже давно отмечена зависимость устойчивости к термитам различных древесных пород от твердости и ширины годовичных колец. Некоторые породы с особенно твердой древесиной (гледичия, робиния) довольно слабо повреждаются термитами. Обычно они начинают вгрызаться в дерево в области раннего слоя годовичного кольца и стараются оставлять нетронутыми твердые слои поздней древесины. По степени твердости все древесные породы делят на 3 группы: мягкие (торцевая твердость 40 Н/мм^2 и меньше), твердые (от 41 до 80 Н/мм^2) и очень твердые (более 80 Н/мм^2). К последней группе относятся акация белая, береза желтая, граб, кизил, самшит, фисташка, хмелеграб, тис. Эти значения даны для сухой древесины при стандартной влажности 12% . С такой сухой древесиной термиты практически никогда не встречаются. Лишь так называемые «суходревесные» виды проникают в древесину открыто, но они, как, например, желтошей термит, обитают в районах с очень влажным климатом, где влажность клеточных стенок древесины близка к насыщению. Другие термиты либо повреждают только сырую древесину, контактирующую с землей, либо покрывают ее предварительно глиняными лепками, под прикрытием которых образуется полость с повышенной влажностью воздуха. В ходах и камерах внутри древесины, при наличии в них термитов поддерживается влажность воздуха, близкая к насыщению. В этих условиях контактирующие с термитами участки древесины всегда имеют повышенную влажность, которая еще более увеличивается во время грызения за счет смачивания слюной.

Твердость древесины, клеточные стенки которой насыщены влагой, значительно ниже, чем у хвойных пород, например, торцевая твердость снижается при увлажнении примерно в 2 раза, а у лиственных — в 1,5 раза. Фактически термиты и грызут в основном такую древесину.

При изучении механизма разрушения древесины термитами особенно важно учитывать масштабный фактор. На микроскопическом уровне древесина представляет собой пористый материал, количество и размеры пор в котором определяются числом и размером полостей проводящих сосудов и трахенд. В любой плоскости среза они образуют многочисленные углубления, каналы или поры, что обеспечивает возможность погружения режущих частей мандибул и закрепления максилл в материале. За счет этого термитам могут быть доступны плоские деревянные поверхности практически любой чистоты обработки.

Поражение древесины грибами снижает ее механические свойства и делает более привлекательной для термитов.

Итоги лабораторных и натурных испытаний наполненных и ненаполненных полимерных пресс-материалов показывают, что термиты способны повреждать лишь немногие из них. К повреждаемым материалам относятся некоторые термопласты, прежде всего полиэтилен высокого давления и пластифицированный поливинилхлорид. Однако и среди них имеются устойчивые марки. В некоторых случаях прослеживается связь устойчивости пластмасс с химической природой пластификаторов и других компонентов, однако в значительно большей степени стойкость таких материалов определяется их физико-механическими свойствами.

Рассмотрим подробнее процесс разрушения мандибулами термитов образцов литых и прессованных пластмасс с плоской поверхностью или с достаточно большой по сравнению с мандибулами термита кривизной (радиусом закругления). Большинство пластмассовых технических изделий имеет именно такую поверхность. Заметим при этом, что термиты вообще и жнецы в особенности не приспособлены для вгрызания в твердые непористые материалы с гладкой поверхностью. И хотя на практике повреждения таких материалов этими насекомыми возможны, они ограничены целым рядом экологических и морфологических особенностей термитов.

Для процесса разрушения пластмасс мандибулами термитов могут быть существенны твердость, прочность, упругость, пластичность и некоторые другие свойства материала, а также форма и чистота (шероховатость) поверхности испытываемого образца. Наиболее явное влияние на устойчивость оказывает твердость материала.

В то же время эффективность процесса резания конкретного материала определяется комплексом механических свойств инструментального материала. Среди них ведущими являются прочность, износостойкость, вязкость и способность сохранять необходимую остроту заточки. Все эти свойства, однако (кроме прочности), сказываются главным образом при длительной работе инструмента. Повреждение твердых непищевых материалов может осуществляться последовательно многими особями термитов, поэтому стачивание и затупление их мандибул будет сказываться лишь на скорости разрушения материала, но не предотвратит полностью его повреждения. Из механических свойств инструментального материала, определяющих саму возможность резания, на первое место выступает твердость.

Твердость кутикулы насекомых связана с развитием периферического экзокутикулярного слоя, структурно укрепленного хитиновым дублированием. Максимальной твердостью, до 980 Н/мм², обладают наружные слои кутикулы режущего края мандибулы (см. рис. 36). В направлении от апикального зубца к молярной доле средняя микротвердость уменьшается с 441 до 314 Н/мм², а максимальная — от 980 до 588 Н/мм²; наименьшую твердость (196 Н/мм²) имеет светлоокрашенная кутикула мандибулы. Яв-

ное снижение твердости кутикулы, коррелирующее с постепенным ослаблением ее пигментации наблюдается также по направлению от вершины к основанию зубцов.

Для пластмасс, обладающих, как правило, высокой пластичностью, минимальное значение твердости инструмента должно превышать твердость обрабатываемого материала, по крайней мере, в 2 раза. Из этого следует, что зубцы мандибул термитов, имеющие твердость 980 Н/мм^2 , могут повреждать пластичный материал с твердостью порядка 490 Н/мм^2 .

Твердость большинства пластмасс не превышает указанной величины, но многие из них термитами не повреждаются.

Показателем возможности резания мандибулами материала является их способность к отделению от него хотя бы минимальной стружки. В случае плоской поверхности материала определяющим фактором грызения является угол раскрытия мандибул и связанное с этим направление силы резания. Максимальный угол раскрытия мандибул у крупных и средних рабочих термитов составляет $70\text{—}80^\circ$, а это значит, что при ориентации оральной плоскости головы параллельно поверхности образца направление силы резания (касательной к траектории движения мандибулы) при смыкании мандибул будет отклоняться от поверхности образца. Иными словами, вращательное движение мандибулы само по себе не может обеспечить внедрение режущей кромки в материал.

При ориентации оральной плоскости головы термита перпендикулярно поверхности образца зубцы мандибул могут работать за счет небольшого наклона осей вращения мандибул к сагиттальной плоскости, что обеспечивает направление вектора силы в глубь материала. Составляющая этой силы, прижимающая мандибулы к поверхности материала (сила подачи, или нормальная сила Q), обеспечивает внедрение режущих кромок в материал. Сам же процесс резания происходит под действием силы сжатия мандибул, направленной по касательной к траектории резания против возникающей при этом силы резания P .

Для отделения стружки от материала термит должен обеспечить подачу, величина которой задает необходимую минимальную толщину срезаемой стружки, и развить на режущих элементах мандибул усилие, преодолевающее силу резания.

Сила резания (P) определяется размером площади сечения срезаемого слоя материала (F) и удельной силой резания (p), величина которой зависит прежде всего от обрабатываемого материала: $P = Fp$.

Полученная в экспериментах максимальная сила сжатия мандибул составляет 1 Н. Исходя из этого, значение максимальной удельной силы резания, которую может преодолеть термит, достигает 294 Н/мм^2 , т. е. оно достаточно велико. При механической обработке древесины различных пород развивается обычно меньшая удельная сила резания. Такого же порядка удельная сила резания характерна для обработки многих пластмасс.

В итоге можно сказать, что развиваемая термитом сила сжатия мандибул, так же как и их твердость, не является ограничением для повреждения большинства литых и прессовочных синтетических материалов.

Кроме встречного движения мандибул в процессе грызения субстрата термит производит различные движения головой, осуществляя при этом и движение подачи. Сила подачи, прижимающая мандибулы к материалу, складывается из сил упора насекомого ногами, сил фиксации головы максиллами и усилий шейных мышц. Усилия подачи обычно чередуются с усилиями отрыва частицы субстрата, причем последние в 2—5 раз больше по абсолютной величине. При отрыве частицы субстрата термит способен развивать максимальное усилие порядка 0,1 Н, а сила подачи обычно составляет лишь 0,02—0,03 Н, редко доходя до 0,05 Н.

Вероятно, способ питания термитов, особенно жнецов, способствовал значительно большему развитию мышц, участвующих в движении отрыва, чем прижимающих мандибулы к субстрату. В последнем случае активное участие принимают максиллы.

Теория процесса царапания материалов утверждает, что сила Q , направленная нормально к обрабатываемой поверхности и вдавливающая острие инструмента в обрабатываемый материал, обязательно должна превышать по величине силу резания P , вектор которой направлен против перемещения острия инструмента по поверхности материала. В процессе воздействия царапающего острия на пластичный материал при изменении силы Q существенно изменяется характер процесса царапания. Малая величина силы Q вызывает только скольжение царапающего острия по поверхности материала. При возрастании силы Q до определенной величины на поверхности материала появится царапина, вначале вдавленная, без снятия стружки, а затем со снятием стружки. Это очень важно. Наблюдения показывают, что при грызении различных пластмасс термиты способны внедрить и закрепить максиллы только в таких сравнительно мягких материалах, как поливинилхлоридный пластикат и полиэтилен высокого давления (некоторые марки). В более твердых материалах максиллы термита не закрепляются, а следовательно, не принимают участия в усилии подачи, которое в этих случаях как раз особенно существенно. Лишенный упора максиллами термит способен развить нормальную силу (силу подачи Q) не более 0,05 Н, под действием которой режущие кромки могут внедриться в твердые пластмассы лишь на незначительную глубину.

Если допустить двукратное превышение силы подачи по сравнению с полученными в эксперименте значениями, то окажется, что мандибулы термита, царапающие материал с отделением от него стружки, не способны преодолеть силу резания, превышающую 0,1 Н, при большей силе резания их режущие кромки будут просто скользить по поверхности материала. Таким образом, при незакрепленных максиллах грызущие способности термита снижаются примерно на порядок и термит может разрушать мате-

риал с удельной силой резания не более 30 Н/мм², что явно недостаточно для большинства синтетических материалов. Критерием возможности повреждения термитами материалов с гладкой плоской поверхностью является возможность закрепления на такой поверхности максилл и участие их в работе.

В итоге все непористые пластмассы с гладкой плоской поверхностью и без целлюлозных наполнителей, с твердостью 98 Н/мм² (10 кгс/мм²) и выше признаны стойкими к повреждению термитами фауны СССР. В категорию заведомо стойких попадают почти все фенопласты, конструкционные стеклопластики и многие другие материалы.

Стойкость материалов к повреждению насекомыми

На фоне обширного спектра вредителей материалов — от микроорганизмов до млекопитающих — насекомые выглядят достаточно компактной группой, обладающей рядом специфических особенностей и общих свойств. Это позволяет рассмотреть в общем виде характерные элементы взаимодействия их с материалами, из которых, в конечном счете, складывается та или иная степень стойкости материалов к повреждению. Основной вопрос, с которым сталкиваются конструкторы, проектировщики, материаловеды и другие технические специалисты, — будет ли данный материал или изделие повреждаться насекомыми? Не всегда можно дать на него однозначный ответ, поскольку стойкость определяется целым комплексом факторов.

Часто стойкость материалов, как и растений, является относительной. О ней можно судить, сравнивая данный материал с аналогичными, повреждаемыми в большей или меньшей степени. По отношению к конкретному виду или группе насекомых можно говорить об абсолютной или полной стойкости материалов. Так, большинство металлов и изделий из них стойки к воздействию любых насекомых и не могут быть повреждены ими ни при каких обстоятельствах, ни в каких климатических и экологических условиях.

Стойкость какого-либо материала определяется взаимодействием его свойств — органолептических, антибиотических и конструкционных и поведения насекомых. Для того чтобы глубоко осмыслить реакции насекомого на различные раздражители, следует тщательно изучать поведение вредных видов насекомых и их способность ориентироваться в сложной природной или созданной человеком обстановке.

Органолептические свойства материала воздействуют на зрительные, химические и тактильные рецепторы насекомого. Через такое воздействие материалы могут привлекать или отталкивать насекомых. Аттрактивность (привлекательность) означает совокупность признаков и свойств материала, которым насекомые

оказывают предпочтение при поиске пищи, места яйцекладки, укрытия или нескольких целей одновременно.

На основе опыта предшествующих поколений насекомые создают и сохраняют в памяти обобщенный образ пищевого объекта, обладающего комплексом привлекающих свойств. Аппетитивность такого объекта складывается из комплексного воздействия на насекомых визуальных, химических и тактильных стимулов. Они могут действовать одновременно или последовательно по мере приближения насекомого к объекту.

Насекомые способны воспринимать все визуальные характеристики объекта: его форму, размеры, окраску и освещенность; кроме того, они фиксируют движения объекта и его частей. Способность к зрительному обобщению позволяет насекомому узнавать пищевой объект с разного расстояния и в разных ракурсах.

Зрительные ориентиры могут определять направленный поиск, но часто дополняются химическими раздражителями и прежде всего запахом, который приобретает иногда ведущую роль. Хеморецепторы насекомых принято делить на ольфакторные, воспринимающие запах, т. е. вещества в газообразном состоянии, и на контактные, воспринимающие «вкус» жидкостей. Ориентация на запах неоднородна. Различают дальнюю и ближнюю обонятельные ориентации. К первому типу относится ориентация на запахи половых феромонов, которые насекомые способны воспринимать на расстоянии нескольких километров от источника. Некоторые пищевые субстраты (свежий помет, трупы животных) также могут привлекать насекомых с дальних расстояний. Характерным примером ближней ольфакторной ориентации является движение термитов по запаху следового феромона. Ширина «пахучей дорожки» может быть не более 1 мм, и термиты следуют по ней, не уклоняясь в сторону. При этом расстояние, на котором термиты воспринимают запах, не превышает нескольких миллиметров или сантиметров. Биологически же оба типа ориентации вполне понятны. В первом случае поиск самки осуществляется на обширной территории, а во втором — обеспечивается точное следование по намеченному пути в лабиринте подземных ходов.

Важное место занимают реакции на механические раздражения, зависящие от физического строения материала и характера его поверхности. Наличие щелей, углублений и других укрытий может привлекать насекомых. Шероховатая поверхность создает удобства для их передвижения. Наоборот, гладкая скользкая поверхность не дает возможности зацепиться, особенно на вертикальных и «обратных» плоскостях. Важна также температура поверхности: на холодные предметы насекомые не садятся, а теплыми привлекаются.

Под действием внутреннего стимула — чувства голода или необходимости откладки яиц — повышается общая двигательная активность насекомого. Начинается ненаправленный поиск соответствующего субстрата. У летающих имаго поиск принимает форму челночных или круговых полетов, а у личинок — расползания во

все стороны от места выплода. На этом этапе может произойти случайное попадание насекомого на тот или иной материал. Однако чаще этот первый этап поиска, на котором активно работают все рецепторы насекомого, переходит во второй, который начинается с момента получения какого-нибудь внешнего сигнала — стимула. После этого движение становится направленным и завершается обследованием субстрата — контактным поиском. Окончательную реакцию насекомого определяет проба на вкус, за которой следует поедание или отвергание данного материала.

В общем виде отыскание насекомым субстрата, который мог бы служить ему убежищем, пищей или местом для откладки яиц, включает цепь реакций на различные раздражители, набор которых зависит от вида насекомого, экологической обстановки и субстрата.

В состав всякого растительного и животного материала входят вещества, привлекающие насекомых, безразличные для них и отталкивающие. Их количественное соотношение определяет поведение насекомых. Обычно в пищевых материалах аттрактивные вещества создают такой запах или вкус, который и привлекает насекомых.

Имеется два основных типа стойкости материалов, обусловленной комплексом их органолептических свойств: 1) стойкий материал в значительной мере лишен одного или нескольких привлекающих свойств; 2) стойкий материал обладает отталкивающими свойствами, которые могут заменять привлекающие раздражители, успешно конкурировать с ними или маскировать их.

В первом случае удаление некоторых веществ может быть произведено в процессе обработки сырья, но обычно после этого аттрактивность материала не падает до нуля в силу комплексного восприятия объекта. Кроме того, несмотря на разрыв в цепи раздражителей, у насекомого остается возможность найти пищевой материал путем случайных проб и ошибок. Успех поиска в значительной степени будет зависеть от плотности популяции насекомого. Снижение аттрактивности до нуля не страшит материал полностью от повреждений, а переводит его в группу случайно повреждаемых объектов. Собственно все непищевые материалы имеют для насекомых нулевую или очень низкую аттрактивность, хотя в конкретных условиях применения могут подвергаться их нападению. Наличие отталкивающих особенностей придает материалу более высокую стойкость.

Органолептические свойства в защите растений нередко рассматриваются как второстепенные, а в стойкости материалов во многих случаях им следует отдавать предпочтение.

Антибиотические свойства представляются в настоящее время наиболее ценной формой устойчивости. Они способны предупреждать, подавлять или уничтожать проявления жизни насекомых.

Степень антибиотического воздействия стойкого материала на насекомое может быть различной. Часто гибель насекомого на стойких материалах происходит очень быстро, в течение несколь-

ких часов или суток. Это первый аспект антибиотического действия — самое обычное и легче всего наблюдаемое явление — токсичность материала. Второй аспект антибиотических свойств — инсектистатическое действие материала, причины и формы проявления которого могут быть различны. Наиболее частый случай — недостаток в материале некоторых или многих питательных веществ — витаминов, белков и т. п. Например, на чистой отмытой шерсти гусеницы моли развиваются значительно хуже, чем на загрязненной. Те же явления наблюдаются при питании термитов на здоровой древесине, гораздо лучше они развиваются на гнилой. На некоторых материалах определенный вредитель может жить только в течение короткого времени и не размножается. В других случаях наблюдается увеличение срока личиночного развития, повышение смертности во время линек, уменьшение размеров и сокращение сроков жизни имаго, снижение плодовитости и, как итог, снижение численности вредителя на материале. Антиметаболиты и другие вещества, которые в соответствующих концентрациях влияют на жизненно важные функции и процессы в организме насекомых, подавляют их рост и размножение, называются инсектистатиками. Они влияют на процессы питания и обмена, подавляют формирование новой кутикулы, вызывают нарушение гормонального равновесия, а также торможение чувствительности рецепторов.

Конструкционные особенности изделий могут играть важную роль в стойкости пищевых материалов. Такая стойкость связана с неспособностью насекомых добраться до пищи, например, в правильно построенных домах, в различных конструкциях, где пищевой для насекомых материал изолирован непроницаемым для них твердым лакокрасочным покрытием.

Взаимодействие насекомых с непищевыми материалами обычно принципиально отличается от описанных выше. Лишь в редких случаях непищевые материалы способны привлекать насекомых. Например, привлекающими для термитов оказываются некоторые пенопласты. Но в данном случае само «привлечение» оказывается существенно иным. Термиты сначала выгрызают в таком материале небольшие полости, которые потом обживают. Подавляющее же большинство непищевых материалов не привлекает насекомых. Они либо нейтральны для них, либо оказывают отрицательное воздействие. Последнее может проявляться в репеллентных свойствах, которые имеют, например, некоторые марки резин, герметиков и пластмасс. В результате насекомые избегают контакта с такими материалами.

При попытках насекомых грызть непищевые материалы результат такого воздействия определяется соотношением инструментальных свойств ротового аппарата насекомого и физико-механических показателей материала. При некотором критическом соотношении этих параметров материал становится полностью стойким к механическому воздействию со стороны насекомого и не может быть поврежден ни при каких обстоятельствах. Повреж-

дение насекомым непищевых материалов не всегда отражается на работоспособности изделий. Такую форму стойкости, при которой материал, а чаще изделие, сохраняет способность функционировать при определенной степени повреждения, называют живучестью. Ее можно выразить количественно, если рассчитывать повреждение по потере массы или по сокращению площади материала, а способность функционировать — по изменению основных свойств изделия (электрических, механических и т. д.).

В конструкцию изделий обычно закладывают некоторый запас прочности, так что при небольших погрызах изделие еще может нормально функционировать без ремонта. Поэтому при случайных повреждениях непищевых материалов функционирование изделия может сохраняться длительное время. Что же касается пищевых повреждений, то они, как правило, довольно быстро разрушают материал. Часто повреждение бывает настолько сильным, что единственный путь восстановления работоспособности изделия — замена поврежденных деталей.

Стойкость как явление, отражающее взаимодействие насекомого с материалом, зависит от многих абиотических и биотических факторов среды, которые оказывают влияние на численность насекомых, состояние материала и размер вреда, причиняемого каждой отдельной особью; существенно и состояние самого насекомого.

Среди абиотических факторов наибольшее значение имеют температура и влажность, иногда — свет и электромагнитное состояние атмосферы.

Температура прежде всего влияет на распространение тех или иных видов и групп насекомых. Так, северная граница ареала термитов примерно совпадает с годовой изотермой $+10^{\circ}$. Следовательно, во всех более холодных районах вопрос о стойкости материалов к этим насекомым отпадает в связи с их отсутствием. С температурой тесно связана также активность насекомых. Каждый вид имеет температурные границы и оптимум активности. Оптимальные для питания температуры обычно близки к оптимуму для развития насекомого, но не обязательно с ним совпадают. Если температура окружающей среды выходит за рамки границ активности, то насекомые впадают в тепловое или холодное оцепенение и не могут повреждать материалы. Температура может влиять и на свойства материалов, и на срок действия защитных средств. Некоторые термопласты заметно размягчаются при обычных летних температурах. Другие материалы при воздействии тропической жары и прочих климатических факторов очень быстро стареют и теряют при этом стойкость к повреждению.

Вторым важным фактором существования и активности насекомых является относительная влажность воздуха и влажность субстрата (почвы, материала). Чрезмерная влажность и появление капельной воды препятствуют дыханию большинства насекомых. Еще сильнее сказывается низкая влажность, которая ведет

к иссушению организма насекомого и его уходу из сухой зоны или гибели.

Освещенность обычно определяет ритм активности насекомых, пик которой приурочен к определенному времени суток. Однако многие скрытоживущие насекомые могут питаться круглосуточно, располагаясь внутри материала (многие ксилофаги, кератофаги).

В последние годы накопилось много данных о влиянии состояния электромагнитной активности атмосферы на интенсивность питания. Довольно много таких сведений по термитам.

Из биотических факторов прежде всего следует учитывать наличие другого источника пищи, расположенного в непосредственной близости от интересующего нас материала. В его отсутствие насекомые лишены выбора и вынуждены поедать даже не очень подходящий для них субстрат. Однако и в этих условиях насекомые не могут питаться несъедобными для них материалами. Последние чаще повреждаются как раз при непосредственном контакте с пищевым для насекомых материалом. В этом случае насекомые «попутно» могут довольно сильно разрушить и непищевой материал и сильно его загрязнить экскрементами.

Большое влияние на стойкость оказывает и «агрессивность» насекомого. При этом различной активностью могут обладать не только разные виды насекомых, но и различные расы одного вида. Насекомые, отличающиеся повышенной способностью повреждать тот или иной материал, характеризуются более крупными размерами либо более тесной приспособленностью к определенным свойствам материала. В последнем случае часто затрагиваются и физиологические особенности насекомого. В природных условиях оба случая могут встретиться в одной и той же популяции. Например, многочисленные расы образуют термиты рода *Reticulitermes*. Такие расы обнаружены в Европе у *R. lucifugus*, на Дальнем Востоке у *R. speratus* и в Америке у *R. flavipes*. Каждая из рас отличается как экологическими, так и физиологическими особенностями и, в частности, интенсивностью поедания древесины.

Из сказанного ясно, что стойкость материалов — явление достаточно сложное. Ее исследование позволяет установить некоторые критерии, общие для всех насекомых. Вместе с тем в конкретных климатических и экологических условиях должны быть учтены особенности биологии конкретных видов.

Особенности защиты материалов, изделий и сооружений от повреждения насекомыми

Комплекс мероприятий, направленных на защиту материалов, изделий и сооружений от повреждения насекомыми, существенно отличается от соответствующих систем, применяемых в защите растений, животных и человека. Если в защите сельскохозяйственных растений основной целью является снижение (в основном

химическими методами) численности популяции вредителя и поддержание ее с помощью интегрированной системы мероприятий на уровне ниже экономического порога вредоносности, то в технике экономических расчетов прямых потерь от биологического воздействия явно недостаточно, так как несравненно большими могут оказаться косвенные потери. Описаны случаи повреждения силовых электрических кабелей на сталелитейном заводе, выхода из строя радиолокаторов на аэродроме, автоблокировки на скоростной железной дороге, которые приводили к крупным авариям и даже человеческим жертвам. В условиях тропического климата неоднократно наблюдались случаи выхода из строя самолетов и другой техники из-за повреждений грибами и термитами. Невосполнимы потери от биоповреждений памятников архитектуры и художественных произведений. Стойкость к биологическому воздействию в таких случаях является частью проблемы надежности оборудования. В целях ее обеспечения необходимые меры защиты приходится применять даже при низкой вероятности возможных биологических повреждений, особенно если дело касается безопасности и жизни людей.

Имеются особенности и в самой системе защитных мероприятий от биологических повреждений, из которых наиболее важными являются локальное применение защитных средств как следствие дискретного распределения защищаемых в пространстве объектов, и применение пассивных мер защиты, которые не оказывают существенного воздействия на природные популяции потенциальных вредителей.

Повреждение насекомыми пищевых материалов, не обеспеченных искусственной защитой, представляет собой вполне закономерный и детерминированный процесс, который при наличии необходимых экологических условий и контакта насекомого с материалом происходит неизбежно и завершается сильным или полным разрушением материала, поскольку он является отражением протекающих в природе при активном участии насекомых общих процессов деструкции продуктов животного и растительного происхождения.

Повреждение непищевых материалов — случайный процесс, который даже при стечении всех способствующих ему обстоятельств происходит далеко не всегда и не обязательно, а с некоторой вероятностью. Эта вероятность, в частности, возрастает пропорционально численности насекомых, находящихся в определенном физиологическом состоянии и контактирующих с материалом. Следовательно, в помещениях, внутри различных устройств и аппаратов она существенно возрастает лишь после предварительного размножения насекомых, например молей и кожеедов, на пищевых материалах. Вне помещений повреждение значительно больше подвержено случайностям, поскольку влияет на численность и поведение насекомых в природе значительно сложнее. Поэтому, чтобы обеспечить гарантированную защиту изделий на длительный срок, рекомендуется использовать в них стойкие к воздей-

вию насекомых материалы или применять конструкционную защиту, предотвращающую контакт вредителя с неустойчивыми материалами. Возможно применение и химических способов защиты, но пока они недостаточно разработаны и редко применяются на непищевых материалах.

Исходя из рассмотренной схемы взаимодействия насекомых с материалами, возможно применение различных способов повышения их стойкости. Часть из них находит применение в некоторых отраслях техники, другие еще только разрабатываются.

Необходимость защиты от насекомых пищевых (для них) материалов, особенно шерстяных и деревянных, имеет давние традиции. Применяемые для этих целей средства были найдены эмпирически и только в последние десятилетия получили научное обоснование. Прежде всего это репелленты длительного действия. Исторически сложилось так, что первые репелленты стали применять против бытовых вредных насекомых, и прежде всего против моли. Многочисленные народные средства — сухая полынь, махорка, листья эвкалипта и благородного лавра, корни лаванды — позже были заменены камфарой, нафталином, парадихлорбензолом и другими химическими препаратами.

Для защиты материалов используют репелленты длительного действия и антифиданты, которыми пропитывают готовую продукцию или вводят их в материал в процессе его изготовления. Обычно это препараты контактного или ближнего ольфакторного действия.

Широко употребляемый в нашей стране для пропитки деревянных шпал и столбов креозот предназначен в качестве токсичного начала против грибного поражения древесины и, собственно, с этой целью и применяется. Одновременно он оказался достаточно эффективным репеллентом для целого ряда насекомых, повреждающих древесину, в том числе и термитов, что, несомненно, увеличивает значимость такой пропитки.

Интересны с точки зрения защиты от насекомых и другие пропиточные составы, тоже токсичные для грибов. Например, оказалось, что известный защитный эффект пропитки древесины медно-хромовой смесью обусловлен не токсичным, а антифидантным действием на термитов.

В защите растений репелленты и антифиданты почти не находят практического применения, а для защиты материалов и изделий в ряде случаев они оказываются достаточно эффективны. При контактном и ближнем ольфакторном действии на насекомых и отсутствии токсичности для человека они явно предпочтительнее инсектицидов для применения в промышленных изделиях и материалах, с которыми постоянно контактирует обслуживающий персонал.

В тех случаях, когда такие насекомые, как, например, почвенные термиты, имеют возможность выбора пищевых субстратов, можно ожидать, что материалы, обладающие стойким репеллентным или антифидантным действием, они не будут поедать в за-

метных количествах и достаточно долго не будут к ним привыкать.

Собственно пищевые для насекомых материалы, естественно, не оказывают на них инсектицидного действия. Для придания им токсичности в них вводят различные препараты. За рубежом для защиты от повреждения термитами и другими насекомыми широко применяют пропитку древесины мышьяковыми, хлорорганическими и другими инсектицидами. Имеются попытки применения инсектицидов для защиты шерсти, кожи и других материалов. Однако в условиях постоянного контакта людей с обработанными изделиями возможно проявление вредного воздействия инсектицидов на организм человека, что недопустимо и ограничивает их список сравнительно безвредными соединениями пиретринового ряда.

Значительно менее опасно применение нетоксичных соединений, вызывающих инсектистатический эффект. Пожалуй, в этом направлении более продвинулись работы по защите шерсти от молей и кожеедов. Модификация молекулы кератина с помощью окисления сульфитом или бисульфитом с последующим восстановлением дибромэтиленом приводит к тому, что шерсть не разрушается ферментами моли. Методы такой защиты, вероятно, особенно перспективны, хотя еще очень дороги, поэтому мало применяются.

Имеются и другие возможности использовать физиологические и биохимические особенности вредителей материалов. Так, еще в 50-х годах был обоснован принцип борьбы с насекомыми с помощью антиметаболитов, блокирующих или существенно нарушающих обменные процессы в их организме. Однако в защите растений такие вещества пока не находят широкого применения, поскольку живые растения богаты естественными продуктами, а на их фоне антиметаболиты не действуют. Другое дело — бедные питательными веществами материалы. Введение в них антиметаболитов и других веществ, которые в соответствующих концентрациях влияют на жизненно важные функции и процессы в организме насекомых, может оказаться более эффективным.

Для многих видов насекомых, у которых потребность в пищевых веществах частично покрывается за счет кишечных или внутриклеточных микроорганизмов, может оказаться эффективным действие симбионтицидов. Например, каприловая и некоторые другие разветвленные монокарбоновые кислоты действуют на термитов, подавляя их кишечных симбионтов так же эффективно, как известные защитные средства. Однако до широкого практического использования такие способы еще не доведены.

Конструкционная защита пищевых материалов используется очень широко и эффективно. Она направлена на изоляцию материала от насекомых и принимает самые разнообразные формы от строительства специальных зданий, непроницаемых для вредителей, до применения неповреждаемых защитных покрытий на изделиях.

Как показывают перечисленные здесь мероприятия, имеется довольно много способов повышения стойкости пищевых материалов, основанных на разных аспектах их взаимодействия с насекомыми. Не менее эффективно используются и внешние факторы, косвенно влияющие на стойкость материалов, прежде всего температура и влажность, поддержание которых на уровнях ниже порога развития насекомых обеспечивает полную сохранность материалов и изделий в хранилищах.

На практике, как и в защите растений, перечисленные способы применяют обычно не сами по себе, а в комплексной системе профилактических мероприятий, которая определяется особенностями объекта защиты. Такие системы включают специальное проектирование и строительство зданий (например, противотермитное строительство), комплексы профилактических мероприятий для гербариев, музеев, складов и, наконец, при появлении вредителей — их полное уничтожение, обычно с помощью фумигации отдельных предметов или всего помещения.

4

ИСТОЧНИКИ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ- ПТИЦЫ, МЛЕКОПИТАЮЩИЕ

Характеризуя высших позвоночных животных с точки зрения их биоповреждающей деятельности, мы должны учитывать их высокое положение в эволюции, с одной стороны, большое значение в биоценотических процессах, особое место в биосфере, с другой. В то же время необходимо подчеркнуть, что основную роль в качестве источников биоповреждений выполняют представители классов птиц и млекопитающих, а среди них — отдельные представители отрядов воробьиных, чаек и грызунов. Главные биоповреждающие виды практически всегда являются массовыми, синантропными, космополитически распространенными, прогрессирующими в своей численности. Точно так же характерными особенностями, объединяющими их, является то, что они, как правило, не используют повреждаемые ими объекты в биологических целях и главными средствами защиты от многих из них являются воздействующие на поведение этологические средства.

ПТИЦЫ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАССА ПТИЦ

Птицы — специализированная группа высших позвоночных животных, приспособившихся к полету. Они характеризуются следующими основными признаками. Тело покрыто перьями, а передние конечности преобразованы в крылья. В отличие от всех других наземных позвоночных птицы — двуногие животные, использующие задние конечности для передвижения по твердому субстрату. Для них характерны также высокоразвитые полушария головного мозга и органы чувств, постоянная и высокая температура тела, четырехкамерное сердце и полное отделение венозной крови от артериальной. Птицы обладают высоким общим уровнем жизнедеятельности за счет интенсификации обмена веществ и усложненного поведения, связанного с разнообразными формами заботы о потомстве и сложными взаимосвязями с окружающей средой. Обособление птиц от пресмыкающихся, видимо, произошло в конце триаса — начале юры.

Класс птиц представлен в настоящее время 27 отрядами, 270 семействами и 8800 видами. Из них на территории СССР обитают представители 18 отрядов, 75 семейств, 750 видов.

Общее число птиц, населяющих земной шар, насчитывает около 100 млрд. особей. Они встречаются везде, за исключением внутренних частей Антарктиды, населяют высочайшие горные системы мира на высотах, превышающих 7 тыс. над уровнем моря, пустыни и степи, леса, морские побережья и океаны.

В нашей стране птицы населяют все природные зоны и достаточно многочисленны всюду.

Наибольшее количество видов птиц встречается в Центральной и Южной Америке — около 2 тыс., в Центральной Африке — более 1 тыс., по мере удаления от тропиков количество видов уменьшается, насчитывая в таежной зоне около 250 видов. В Англии их число составляет 120 млн. (около 400 видов), в том числе зябликов и черных дроздов 10 млн., скворцов 7 млн., домовых воробьев 3 млн., грачей около 2 млн.

В процессе эволюции птицы освоили различные местообитания и в настоящее время встречаются в различных типах ландшафта. Так, древесно-кустарниковые птицы гнездятся и кормятся в кронах деревьев и кустарников, некоторые виды используют для гнездования дупла (славки, синицы, кукушки, колибри, дятлы, трогоны, мамоты, рогоклювы). Наземно-древесные птицы собирают корм как в кронах, так и на земле, устраивая гнезда на поверхности почвы и в кустарниках (тетеревины, голуби, дрозды, крапивники, вьюрки, овсянки). Наземные птицы приспособились к гнездованию на поверхности субстрата и наземному питанию (коньки, трясогузки, чеканы, каменки, тинаму, авдотки, дрофы, тиркушки, рябки). Околоводные птицы населяют заросшие и открытые берега водоемов, где находят пищу и места для гнездования (кулики, цапли, пастушки, фламинго). Водные птицы добывают пищу, плавая и ныряя, устраивая свои гнезда на побережьях морей, океанов или внутренних водоемов (пингвины, гагары, поганки, бакланы, чистиковые). Для птиц, охотящихся на лету, характерны длинные и узкие крылья, способствующие маневренному полету и длительному планированию на большой высоте над водой (чайки, крачки, фрегаты, поморники, веслоногие), или, напротив, широкие крылья, как у орлов, грифов и других парителей.

Некоторые виды, такие, как сипуха и скопа, морской зуек, деревянная ласточка, распространены на земном шаре чрезвычайно широко, встречаясь на всех или почти всех материках, ареал других видов охватывает континенты или их части. Только на Таймыре и Ямале гнездится краснозобая казарка, на Чукотке — кулик-лопатень. Отдельные виды по разным причинам, в том числе связанным с деятельностью человека, резко расширяют свой ареал, как, например, кольчатая горлица, канареечный вьюрок, майна, в то же время ареалы других видов резко сокращаются, а численность падает. Если численность зяблика превышает 200 млн. особей, кайр — около 60 млн., то калифорнийских кондоров — всего

60 особей, американских журавлей — 50, белоспинных альбатросов — 30. В настоящее время 181 вид и 77 подвидов птиц согласно Международной Красной книге являются редкими и исчезающими. На территории СССР таких видов насчитывается 80.

За период с 1600 г. на земном шаре исчезло 94 вида птиц. Это обстоятельство заставляет быть особенно внимательным при проведении практических мероприятий, направленных на защиту технических устройств от биоповреждающей деятельности птиц, — во всех случаях эти мероприятия не должны противоречить природоохранительным принципам, полностью исключая возможность какого-либо отрицательного воздействия на охраняемые виды птиц, занесенные в Красную книгу СССР.

Среди биологических особенностей птиц, определяющих их роль в создании биоповреждающих ситуаций, наибольшее значение имеет их *способность мигрировать на различные расстояния, создавать массовые концентрации в непосредственной близости от хозяйственно важных объектов*. Поскольку не во всех случаях миграции и создаваемые за счет них повышенные концентрации носят периодический и сезонный характер и значительная часть пространственных перемещений относится к категории нерегулярных, то создаваемые птицами биоповреждающие ситуации не всегда предсказуемы.

Другой биологической особенностью птиц, существенной с точки зрения создаваемых ими биоповреждений ситуаций, являются *высокоразвитые ориентационные способности, возможность обучаться на новые ориентиры и экстраполировать их перемещения в пространстве, сигнализировать своим популяционным и биоценотическим партнерам о сложившейся ситуации и оптимальной стратегии поведения в данных условиях*. Огромное значение имеет *синантропизм птиц*, обеспечивающий тесные связи с человеком и результатами его деятельности, позволяющий активно реагировать на новые объекты и материалы антропогенного происхождения, использовать их в своих экологических целях.

Около $\frac{2}{3}$ видов птиц совершают длительные сезонные миграции, отличающиеся строгой периодичностью. Во время сезонных перелетов птицы способны преодолевать значительные расстояния, например полярные крачки в течение нескольких недель — до 15 тыс. км, перемещаясь от мест гнездовых (северные побережья Азии, Европы и Северной Америки) до зимовок, расположенных в южных водах Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Мелкие птицы пролетают в среднем около 300 км, при этом они летят около 6 ч и остальное время отдыхают. После двух миграционных суток птицы останавливаются на 2—3 суток отдохнуть и покормиться. Большинство птиц во время сезонных перелетов летит на высоте до 1,5—2 тыс. м, хотя крупные птицы залетают на высоты 6 тыс. м и выше. Максимальная скорость мигрирующих птиц составляет 11,5 м/с у перепелятника, 14,6 м/с у зяблика, 20,6 м/с у скворца.

В межмиграционный период пространственные перемещения птиц менее продолжительны и масштабны, хотя, как правило, пе-

риодичны. У многих видов существуют регулярные суточные перелеты на кормежку. Зимующие птицы нередко совершают регулярные кочевочные миграции, скапливаясь многотысячными стаями в удобных для ночевки местах. Осенью молодые птицы, покинувшие гнезда, совершают кочевки иногда на значительные расстояния. В летний период водоплавающие мигрируют в укромные места, где интенсивно линяют, теряя способность к полету (миграции на линьку крыла). Массовые выселения (инвазии) за пределы ареала совершают виды, экологически связанные с семенами древесных растений и зависящие от их урожая.

Открытый образ жизни, постоянные перемещения способствовали развитию у птиц совершенной ориентации, сигнализации и общения. Определяя свое местоположение в пространстве, птицы используют в качестве опорных ориентиров солнце и звезды, магнитные поля, барические градиенты, поляризованный свет, инфразвуковое излучение, ландшафтное окружение, партнеров по виду и биоценозу. Информацию об этих ориентирах птицы получают благодаря совершенным органам чувств, среди которых зрение является уникальным и во многих отношениях непревзойденным в животном мире. Слух птиц хотя и уступает в отношении общего диапазона восприятия таковому млекопитающих (летучие мыши, дельфины), однако превосходит их в отношении разрешающей способности, восприятия деталей и распознавания сложных звуковых образов, кодирования биологически важной информации. Новые данные свидетельствуют о возможности птиц ориентироваться по запахам. Так, ученые Пизанского университета установили, например, способность почтовых голубей отыскивать свою голубятню с помощью «запаха» той части города, где она расположена.

Важным источником информации о пространстве являются сигналы популяционных и биоценотических партнеров (опосредованная ориентация). С помощью оптических и акустических сигналов птицы передают и воспринимают значительные объемы информации, касающейся пространственных характеристик окружающей среды и самих источников информации.

Совершенная ориентация позволяет птицам успешно решать широкий круг экологических задач и в том числе совершать регулярные и нерегулярные миграции, спасаться от врагов, отыскивать подвижную добычу, воспитывать птенцов, осуществляя поведенческие акты высокой степени сложности с использованием элементов расудочной деятельности.

Способности к счету и количественным оценкам, экстраполяции пространственных перемещений природных ориентиров дают им значительные преимущества перед другими классами животных. Вместе с высокоразвитыми коммуникативными способностями они обеспечивают важнейшее приобретение класса — групповое поведение, коллективный, стайный образ жизни, дающие им дополнительные преимущества в защите от врагов, поисках и добычании пищи. В скоплениях птиц благодаря обучению и передаче опыта создаются благоприятные условия для лучшей ориентации в пространстве

(эффект групповой ориентации), непрерывного пополнения группового опыта и групповой памяти, его биологически целесообразной реализации за счет обучения молодых особей.

В сложную мозаику распределения птиц все более активно вмешивается человек, меняя и преобразуя лик планеты, создавая значительные территории новых для птиц биотопов. Расширяются площади под городскими кварталами, сельскохозяйственными землями, транспортными магистралями, аэродромами. В настоящее время на земном шаре насчитывается свыше 130 городов с миллионным населением, 30% поверхности суши заняты сельскохозяйственными землями. Ежегодно десятки тысяч гектаров земной поверхности покрываются асфальтом. Птицы по-разному реагируют на эти изменения. Численность одних резко падает, других — увеличивается, и они становятся обитателями вновь созданных местообитаний.

В новых экологических условиях создаются новые сообщества и в некоторых из них вовлекаются созданные человеком устройства и сооружения в качестве объекта биоповреждающего действия. Летательные аппараты, энергетические установки, промышленные сооружения, памятники культуры все чаще оказываются в положении повреждаемых птицами объектов, — одни как экологически используемые птицами, другие — в результате случайных, но крайне нежелательных по своим последствиям коллизий.

Человек в любом случае не может игнорировать эти ситуации и вынужден учитывать синантропных птиц как один из факторов своего существования. В свою очередь, обитая рядом с человеком, синантропные птицы вынужденно меняют свои биоритмы, поведение, репродуктивные циклы, питание и другие экологические характеристики.

Экологическая пластичность птиц, их «свободное» отношение к пространству расширяют зону контактов птиц с человеком, увеличивают многообразие этих контактов. Начиная эти контакты как вынужденные, в дальнейшем птицы ведут себя по отношению к человеку как экологические экспансионисты, используя человека и создаваемую им среду как выгодную для себя и в дальнейшем — необходимую. И создаваемые человеком технические устройства и сооружения все чаще становятся для птиц экологически важными компонентами этой новой среды.

Перечисленные биологические особенности, способствующие проявлению повреждающей деятельности и свойственные классу птиц в целом, неодинаково выражены в различных группах. Из 170 семейств представители чайковых, голубей, врановых, скворцовых и ткачиковых наиболее часто фигурируют среди источников биоповреждающего действия, в то же время в каждом из этих семейств не все, а лишь немногие виды. На территории СССР это речная, сизая и серебристая чайки, сизый голубь, грач и серая ворона; обыкновенный скворец, домовый воробей. Все они характеризуются способностью создавать огромные концентрации на огромной площади, терпимым отношением к человеку и результатам его деятель-

ности (большинство — облигатные синантропы), групповым образом жизни. Их численность, значительная в настоящее время, неуклонно растет, делая взаимоотношения с этими видами одним из серьезных факторов экологии человека.

Систематический статус повреждающих групп

Среди 8800 населяющих земной шар видов птиц примерно 1%, т. е. около 100 видов, относятся к биоповреждающим, наносящим вред сырью, материалам, технике и сооружениям. Одни виды регулярно сталкиваются с самолетами, другие, поселяясь на опорах линий электропередач, вызывают аварии энергосети, третьи пачкают пометом памятники и крыши, способствуя усиленной коррозии металла. К биоповреждающим видам у нас относятся озерная, сизая и серебристая чайки, сизые голуби, скворцы, грачи и серые вороны, представляющие отряды ржанкообразных, голубеобразных и воробьинообразных.

Отряд ржанкообразные (Charadriiformes) насчитывает 289 видов, в СССР — 133 вида. Птицы средних и мелких размеров, ведущие водный или околоводный образ жизни, с редуцированным задним пальцем и слабо пневматизированным скелетом, заостренными крыльями, яйца с окрашенной скорлупой и пятнистостью, птенцы выводкового типа. Широко распространены по земному шару.

Семейство чайковые (Laridae), включающее основные биоповреждающие виды (в СССР — озерную, сизую и серебристую чаек), объединяет птиц белой или серебристо-серой окраски (редко с черным), с легким, маневренным полетом, гнездящихся колониально на земле, уступах скал, сплавинах, на крышах зданий. Откладывают 2—3 пестрых яйца, инкубация длится от 2 до 4 недель, через 1—2 дня после вылупления птенцы хорошо бегают и плавают, но держатся вблизи гнезда, поднимаясь на крыло в возрасте 2—4 недель. Большинство ведут мигрирующий или кочевой образ жизни. Крупные виды питаются рыбой, падалью, грызунами, мелкие — насекомыми и другими беспозвоночными, мальками. В питании все большее значение приобретают пищевые отбросы, подбираемые на свалках и помойках. Многие виды охотно контактируют с человеком, поселяясь на окраинах городов и в городах. Численность таких видов всюду непрерывно растет. Наносят значительный ущерб, сталкиваясь с самолетами, выедаая корм из клеток на зверофермах, загрязняя крыши жилых и промышленных сооружений. В семействе — 78 видов, из них на территории СССР встречается 31 вид.

Отряд голубеобразных (Columbiformes) насчитывает 310 видов, широко распространенных в тропиках и умеренном поясе, из них на территории СССР встречается 16 видов. Мелкие и средней величины с плотным оперением и удлинненными, заостренными крыльями. Основной биоповреждающий вид — сизый голубь — представитель семейства голубиных — Columbidae, включающий 285 видов мелких и средней величины птиц с тонким удлинненным и вздутым у осно-

вания клювом и восковицей у основания надклювья. Некоторые виды ведут оседлый образ жизни, тогда как другие совершают протяженные миграции. Хорошо ходят, быстро и маневренно летают, пьют, всасывая воду, не поднимая головы. Гнезда в виде рыхлой кучки прутиков устраиваются на деревьях в развилках ветвей, в дуплах, жилых и промышленных постройках. В кладке — 2, реже 1 яйцо белого или кремового цвета, насиживаемые обоими родителями от 2,5 до 5 недель. Слепых, покрытых редким нитевидным пухом птенцов выкармливают оба родителя «зобным молочком», в возрасте 2,5—4 недель птенцы приобретают способность к полету и покидают гнездо. Наиболее массовый вид — сизый голубь обитает как облигатный синантроп в городах и населенных пунктах, делая по 4—5 кладок в году и питаясь на помойках и свалках, а также используя подкормочные площадки, устраиваемые населением в жилых кварталах. Наносят существенный ущерб городскому хозяйству, памятникам и сооружениям, загрязняя пометом и вызывая ускоренную коррозию металлических поверхностей.

Отряд воробьинообразных (Passeriformes) относится к числу самых многочисленных, объединяя больше половины всех ныне живущих видов птиц. Включает 5100 видов, из которых на территории СССР встречается 323. 70 семейств этого отряда представлены мелкими и средней величины птицами, обитающими всюду, кроме Антарктики. Все они имеют плотно прилегающее или рыхлое оперение, четырехпалые ноги с острыми когтями (один палец направлен назад), хорошо летают и быстро передвигаются по субстрату. Для них характерна моногамия и участие обоих родителей в насиживании и выкармливании потомства, развитие по птенцовому пути. **Слепые и голые птенцы не покидают гнездо, пока не оперятся и не достигнут размера взрослых, родители кормят птенцов, вкладывая пищу в раскрытый клюв. Вылетевшие из гнезда птенцы некоторое время держатся с родителями.**

Основные биоповреждающие виды в фауне СССР относятся к семействам вороновых и скворцовых.

Серая ворона и грач, наносящие значительный ущерб техническим устройствам, сооружениям и энергетическим установкам, — представители семейства вороновых (Corvidae). Семейство объединяет 100 видов, из которых в СССР встречается 16, широко распространенных всюду по земному шару большоголовых и большеклювых птиц, в основном оседлых и кочующих, иногда перелетных, гнездящихся одиночно и колониями на деревьях, в зарослях кустов, постройках. В массивные гнезда из веток с мягкой выстилкой нередко вплетают проволоку, гнезда все чаще устраивают на технических сооружениях и опорах. Откладывают 2—4, иногда 7—9 голубоватых с коричневым крапом яиц, которые насиживаются 16—22 дня, птенцы вылетают через 3—5 недель после вылупления. Всеядны, в последнее время все чаще используют пищевые отбросы, собираемые на свалках и мусорных кучах. Охотно контактируют с человеком, многие виды колониальны и ведут стайный образ жизни вне периода размножения. Обладают высокоразвитыми

способностями к сигнализации и звукоподражанию, сложным формам поведения и аналитико-синтетической деятельности.

Обыкновенный скворец, наносящий значительный ущерб техническим устройствам, сырью и городскому хозяйству, представляет многочисленное (110 видов) семейство скворцовых (Sturnidae). Мелкие и средней величины птицы плотного телосложения имеют крепкий, удлинённый заостренный книзу клюв, сильные ноги с острыми когтями, густое оперение окрашено в черные, коричневые и белые тона (иногда красные и синие) с металлическим блеском, у некоторых видов на голове — хохол, а пространства около глаз и клюва — голые. Большинство видов ведут колониальный образ жизни (стайный вне периода размножения). Рыхлые гнезда устраиваются в укрытиях, иногда норах, зданиях, сооружениях различного назначения. Откладывают 4—6 беловатых или голубоватых яиц, которые насиживают самка или оба родителя, выкармливают птенцов всегда оба родителя. Через 2—4 недели птенцы покидают гнездо и кочуют со взрослыми, вплоть до начала миграций. Некоторые виды ведут оседлый образ жизни. Питаются насекомыми, моллюсками, червями, семенами, ягодами, плодами, кормятся в скверах и парках, используют пищевые отбросы. В садах и виноградниках уничтожают значительную часть урожая. Охотно контактируют с человеком, поселяются в городах, где гнездятся в зданиях и искусственных гнездовьях, часть популяций становится оседлой. Численность некоторых видов непрерывно растет и защита от биоповреждающей деятельности скворцов становится важной задачей.

Помимо чаек, врановых и голубей в биоповреждающих ситуациях участвуют дневные хищники, голенастые, пластинчатоклювые, стрижи и дятлы, однако их участие не столь значительно и в большинстве случаев носит нерегулярный характер, поэтому мы не относим их в категорию облигатных и массовых «биоповрежденцев», требующих специальных мер борьбы и защиты.

Повреждаемые птицами объекты

Невозможно охватить весь перечень материалов, технических устройств, архитектурных и промышленных сооружений, памятников, наконец, сырьевых ресурсов в стадии добычи, хранения, транспортировки и переработки повреждаемых птицами, поэтому мы остановимся лишь на главных, наиболее важных.

Повреждение пушно-мехового сырья. Птицы являются косвенными источниками биоповреждений пушно-меховых изделий и снижения их качества, поскольку съедают на зверофермах значительную часть корма, предназначенного зверькам. Этот вред наносят главным образом серые вороны, трудно поддающиеся в этих условиях отпугиванию и тем более уничтожению. Насильственное изъятие части ворон путем отлова и отстрела сопровождается быстрым пополнением за счет городских популяций. И хотя количественные выражения этих потерь пока еще трудно оценить, их значительность несомненна. Действенных мер защиты от птиц в условиях зверо-

ферм пока еще не существует. Одним из наиболее перспективных в этом отношении методов должны стать дрессированные хищники.

Повреждение энергетических установок. В последнее десятилетие грачи, аисты и другие птицы перешли к гнездованию на опорах линий электропередач, устраивая свои гнезда на металлических конструкциях. Используя при этом для строительства гнезд наряду с обычным материалом обрезки проволоки, в изобилии валявшиеся под опорой, грачи вызывают аварийные отключения, лишая энергоснабжения заводы, фермы, больницы и т. д. Устраивая тяжелые гнезда на железнодорожных станциях, аисты начали создавать помехи эксплуатации транспорта. О том, насколько ощутимы эти помехи, возникающие по вине птиц, свидетельствуют следующие цифры. По данным А. М. Болотникова и его сотрудников (1981), грачиные гнезда, расположенные на опорах ЛЭП (до 55 на одной опоре), вызывают аварийные отключения энергосети (до 15 аварий на каждые 6 опор в сезон гнездования). Один только поиск места такого отключения обходится в сотни рублей, но последствия его несоизмеримо более весомы и в сумме наносят огромный ущерб.

Наряду с гнездостроительной деятельностью птицы стали создавать существенные помехи энергосети благодаря использованию опор в качестве мест отдыха и присады. Источником аварии в этом случае был жидкий помет, струя которого становилась проводником и вызывала замыкание, убивающее птицу и одновременно отключающее ток. О том, как часто это происходит, свидетельствует количество трупов птиц под линиями электропередач. Только в Калмыкии на каждые 30 км линий можно насчитать до 70 трупов птиц, главным образом орлов (Б. М. Звонов, Г. А. Кривоносов, 1981).

Сравнительно недавно возникла и существенно возрастает величина ущерба, вызываемого большими пестрыми дятлами, повреждающими вершины деревянных опор энергосети в условиях сельской местности. Дятлы раздалбливают оголовки опор, чаще всего поблизости от изоляторов. Возникают глубокие щели, в которых развивается грибная флора. Вершина опоры загнивает, чаще всего в районе изоляторов, которые в некоторых случаях даже выпадают. Ремонт и замена опор сопровождаются значительными расходами и чрезвычайно трудоемки, учитывая условия сельской местности. Таким образом, повреждение дятлами деревянных опор линий электропередачи в масштабе страны приносит значительный ущерб и также требует внимания ученых и практиков.

Повреждение памятников культуры, архитектурных и промышленных сооружений. Посещая крупные города с давней историей и многочисленными памятниками, представляющими огромную культурную ценность, мы нередко бываем свидетелями их плачевного состояния. Скульптуры и здания густо обсажены сизыми голубями, облиты их пометом, покрывающим поверхность подобно плотному белому панцирю, а там, где он отпал, уже видны следы сильной коррозии материала, из которого сделан памятник. Искусствоведы и специалисты затрачивают большие усилия на то, чтобы предохранить каменные постройки и скульптуры, металлические памятники

и крыши зданий от птиц и все же до сих пор эта задача остается актуальной. Большой ущерб наносят чайки западно-европейским городам, устраивая свои гнезда на плоских крышах домов и беспечно проходящих своими криками. Вороны и галки, пытаясь присаживаться на маковки церквей, обдирают когтями позолоченную поверхность, способствуя усиленной коррозии и нанося значительный материальный ущерб.

Повреждение транспортных средств. Материальный ущерб, вызываемый столкновениями самолетов и вертолетов с птицами, очень значителен прежде всего из-за высокой стоимости авиационной техники.

В начале века были зарегистрированы первые случаи столкновений самолетов с птицами, лишь иногда сопровождающиеся серьезными авариями (в 1912 г. в США из-за столкновения с птицей разбился летчик-испытатель), к настоящему времени число таких столкновений перевалило за 4000, причем каждое десятое из них сопровождалось тяжелыми последствиями. В швейцарских ВВС, например, на каждые 10 тыс. ч полета приходится 9,7 столкновений с птицами.

Так с 1946 по 1963 г. в Англии столкнулись с птицами 145 гражданских самолетов, убытки некоторых авиакомпаний составили 100 тыс. фунтов стерлингов. В США с 1961 по 1963 г. произошло 430 столкновений с чайками, утками и воробьиными. Если средняя стоимость ущерба, нанесенного в результате одного столкновения, в те годы достигала 6,5 тыс. фунтов стерлингов, то в настоящее время она еще более возросла, поскольку многократно увеличилась стоимость самолетов, достигающая десятков, а для экспериментальных машин — сотен миллионов долларов. Кроме того, из-за возросшей скорости самолетов соответственно увеличилась опасность столкновений и тяжесть их последствий. Птицам стало труднее избегать столкновений. Сила удара тела птицы о самолет, летящий со скоростью 2000 км/ч, стала достигать 30 000 кг.

В 39,4% столкновений гражданских самолетов птицы попадают в двигатель, в 32,4% — в плоскости, в 16% — в остекление кабины, в 7% — переднюю часть фюзеляжа. Изучая последствия таких столкновений, конструкторы укрепляют соответствующие узлы, увеличивают их птицестойкость. Готовые самолеты испытывают на птицестойкость, обстреливая их на специальном стенде птичьими тельцами из крупнокалиберной пневмопушки. Однако конструкторы ограничены в своих возможностях защиты самолетов от птиц, так как повышение птицестойкости самолетных узлов неизбежно сопровождается их утяжелением и падением мощности двигателей.

Поэтому наряду с технологическими средствами используются другие пути. Авиационные метеорологи с помощью радиолокаторов прослеживают перемещение массовых скоплений птиц особенно в тех точках, где они пересекаются с трассами авиалиний. Во время массовых миграций птиц воздушные коридоры, заполненные птицами, закрываются для движения воздушных лайнеров. Так, одна из швейцарских авиакомпаний, терпящая убытки до 324 тыс. швейцар-

ских франков в год из-за 60 столкновений самолетов с птицами (3,2—7,6 столкновений на каждые 10 тыс. часов полета), улучшила на 48% статистику столкновений, наладив отслеживание массовых скоплений птиц и изменив трассы взлетающих и садящихся самолетов. До этого 90% столкновений происходило на взлете и посадке главным образом по вине чаек (30%), ласточек и стрижей (20%), хищных птиц (15—20%). Поскольку большая часть (до 60% и выше) столкновений гражданских самолетов с птицами происходит во время взлета или посадки, район аэродрома занимает особое место в защите самолетов от птиц. Территория современного аэродрома, занимающего площадь до 10 км², используется под сельскохозяйственные и лесохозяйственные работы. И хотя птицы испытывают здесь значительные нагрузки от шума работающих двигателей и химического загрязнения, они находят в районе аэродрома лучшие кормовые условия в виде многочисленных насекомых и грызунов, семян сорняков и культурных растений, пищевых отходов (свалки и мусорные ящики у аэродромных городков), удобные места для отдыха, ночевки и устройства гнезд. На водоемах, расположенных поблизости от взлетной полосы, охотно гнездятся чайки, останавливаются кулики, утки, в ангарах и крышах административных зданий поселяются сизые голуби и галки, на высоких деревьях устраивают колонии грачи.

Во время сезонных миграций и кочевочных перемещений молодняк в конце лета концентрация птиц на аэродромах особенно возрастает, увеличивая опасность столкновения самолетов с птицами, главным образом молодыми и неопытными, недавно покинувшими свои гнезда, не знающими местных условий (рис. 37). Встречая в районе аэродрома экологически благоприятные условия, определенные виды птиц вовлекаются в аэродромный биоценоз, становясь его активными и наиболее массовыми участниками. Так, на Уилтширском аэродроме (Англия) обитает 43 вида птиц, включая опасных для авиации и наиболее часто сталкивающихся с самолетами чаек, чибисов, голубей, грачей, скворцов.

Не все обитающие на аэродроме или посещающие его территорию во время кочевки и миграций виды опасны для самолетов. В зависимости от образа жизни, поведения и других факторов с самолетами сталкиваются в основном лишь вполне определенные представители аэродромной фауны, в то же время значительное число видов относится к категории случайных, столкновения которых с самолетами трудно прогнозировать и еще труднее предотвратить. Среди 2850 птиц, столкнувшихся с 1541 самолетом в Англии в 1966—1976 гг. (20% столкновений произошло на взлетно-посадочной полосе), основную массу составили озерная и сизая чайки (42,2%), чибисы (14%), стрижи (5,6%), вяхири (5,3%), скворцы (3,7%) и врановые (1,9%), все другие виды попадали в эту категорию случайно и единичными случаями.

Изучая статистику столкновений, орнитологи выявляют ее зависимость от времени суток, высоты и характера полета, скорости и т. д. (В. Э. Якоби, 1974). По данным А. И. Рогачева и В. В. Ход-

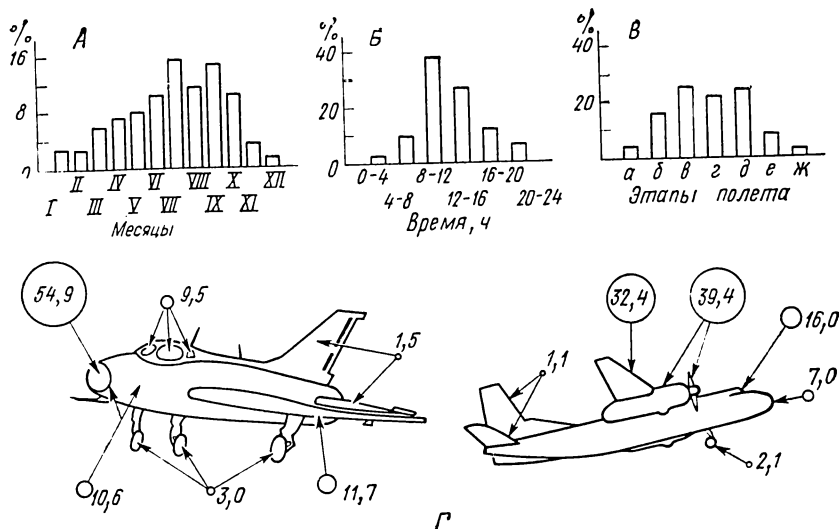


Рис. 37. Зависимость столкновений самолетов с птицами от времени года (А), времени суток (Б), этапов полета (В) и типа самолета (Г) (по В. Э. Якоби, 1974)

ченко (1981), в СССР с 1970 по 1979 г. столкнулось 1500 гражданских самолетов, причем большинство столкновений (28%) произошло в августе и сентябре, в светлое время суток (67%), на высотах до 100 м (46%), при скорости полета самолета 101—300 км/ч (71%), сталкивались во время посадки (40%).

Значительное место в практических мероприятиях по защите самолетов от птиц занимает прогнозирование орнитологической обстановки в зависимости от сезона, времени суток, метеоусловий и т. д. (рис. 38).

Изучая аэродромную фауну и сопоставляя ее со статистикой столкновений в районе аэродрома, орнитологи заботятся о ликвидации привлекающих птиц экологических факторов, направленном формировании аэродромной фауны, уменьшении численности видов, наиболее часто сталкивающихся с самолетами. При этом широко используются средства отпугивания птиц, основанные на пиротехнических и акустических устройствах, имитирующих тревожные крики птиц, сопровождающиеся звуками ружейных выстрелов и пиротехническими эффектами. Если гражданские самолеты повреждаются, сталкиваясь с птицами при взлете и посадке (их полет протекает на высотах до 9 тыс. м, на которые птицы практически не залетают или залетают очень редко), то самолеты военной авиации, летящие на низких высотах, захватывают коридоры, используемые мигрирующими птицами. В военно-морской авиации капиталистических стран большинство столкновений происходит на высотах до 300 м, в основном в марте — мае и сентябре — ноябре, в утренние часы. При этом в отличие от гражданских самолетов

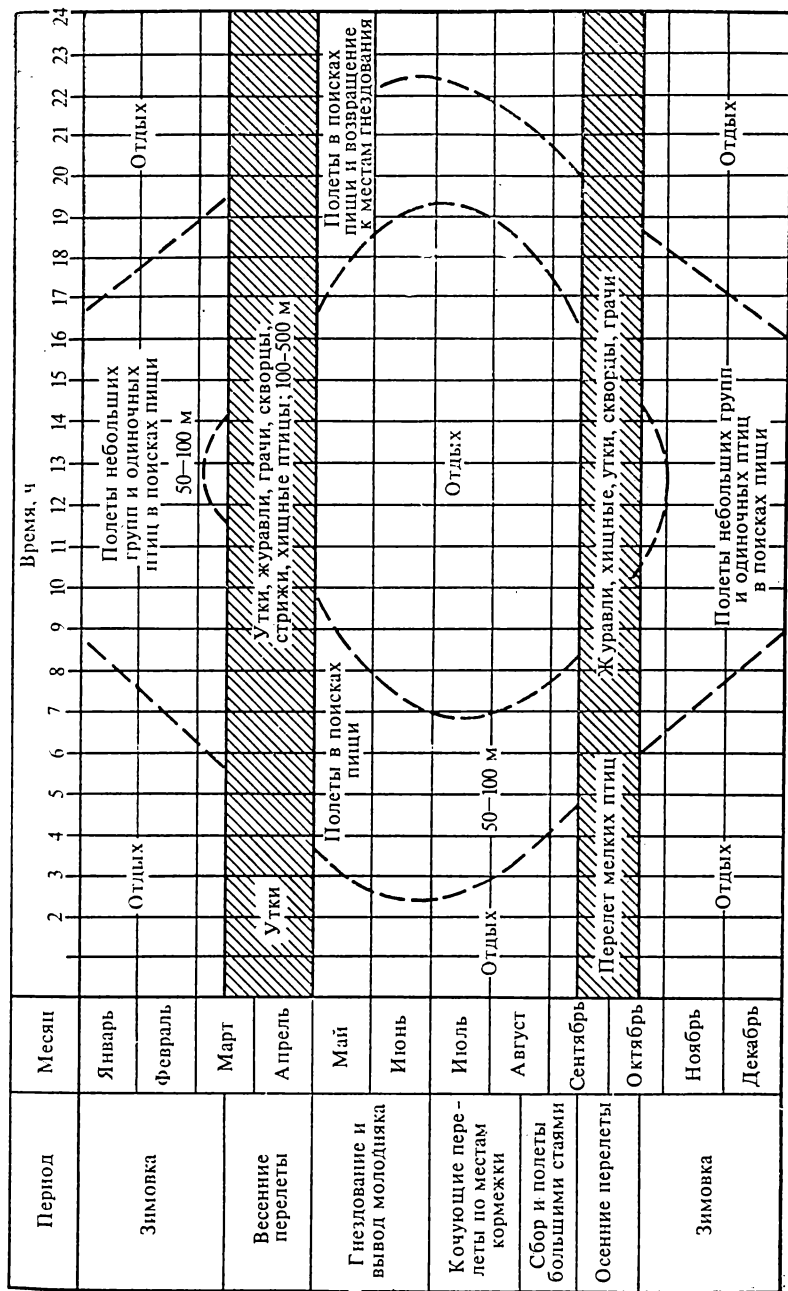


Рис. 38. Суточную и годовую активность птиц в районе аэродрома учитывают при планировании полетов (В. Э. Якоби, 1974)

наиболее уязвимым оказывается двигатель, повреждаемый в 45% случаев.

Значительное место в повреждении птицами самолетов занимает порча их на открытой стоянке и во время ремонта под крышами ангаров. Серые вороны засовывают остатки пищи в хвостовое оперение самолетов, расклеивают брезентовую обшивку вертолетов, воробьи, трясогузки и большие синицы устраивают гнезда в отверстиях тяги элеронов. Базируясь на временных аэродромах, самолеты и вертолеты сельскохозяйственной авиации повреждаются птицами, устраивающими в них свои гнезда и нарушающими обшивку.

Основные направления в защите от биоповреждений, вызываемых птицами

Оценивая средства защиты с точки зрения их воздействия на организмы, вызывающие повреждения, их, вероятно, можно разделить на три категории. В первую категорию войдут средства, вызывающие гибель организмов при попытке нанести повреждение объекту или просто при контактах с ним (биоцидные средства). Вторую категорию составят средства, ухудшающие физиологическое состояние организма — обратимо и только в зоне непосредственной близости с объектом. Наконец, средства, входящие в третью категорию и получившие название этологических средств, способны влиять на поведение организма, вызывая у него реакцию бегства от объекта, его активного избегания.

Все три категории в разной степени используются против микроорганизмов, растений, беспозвоночных и позвоночных животных. Если для микроорганизмов в основном используются биоциды, то для высших животных, включая птиц, — в большей степени этологические средства. Преимущественное использование этологических средств против организмов, занимающих высшие ступени эволюционной лестницы, объясняется, в первую очередь, высокоразвитыми способностями последних к пространственной ориентации и сигнализации, позволяющими путем имитации естественных ориентиров и сигналов влиять на их поведение в нужном для человека направлении. И хотя в практике защиты от биоповреждений достаточно быстро совершенствуются все средства, в отношении высших животных отчетливо смещаются акценты от биоцидных к этологическим средствам, которые приобретают все большее практическое значение.

Эти средства отпугивают или отвлекают животное от объекта, стимулируя его направленное перемещение в желательную для человека сторону. При этом животному не грозит гибель и это обстоятельство имеет огромное значение в тех случаях, когда биоповреждения вызываются видами, имеющими большую научную, хозяйственную или культурную ценность, затрадняя или делая невозможным использование в качестве средства защиты их прямое уничтожение.

Использование элиминирующих средств, основанных на уничтожении, крайне нежелательно в тех случаях, когда биоповреждающими агентами оказываются животные, поскольку их выпадение из биоценоза может иметь для последнего самые нежелательные последствия. Конечно, это полностью относится к растениям, но в отличие от животных они не могут управляться этологическими средствами и здесь приходится использовать биоциды и другие более жесткие методы защиты. В отношении микроорганизмов вопрос об ограничении биоцидных мер, имея в виду природоохранные и биоценотические аспекты, пока не стоит, хотя он, по-видимому, возникнет и в будущем приобретет свою актуальность.

Какими же преимуществами, помимо указанных, обладают этологические средства? По сравнению с другими средствами защиты от биоповреждений они более дешевы, экономичны, эффективны, надежны. Кроме того, они характеризуются также масштабностью и пролонгированностью действия, т. е. качествами, важными в осуществлении профилактических мероприятий. И, наконец, этологические средства хорошо вписываются в систему защитных мероприятий как составная часть будущего биосферного мониторинга.

Очевидные преимущества этологических средств перед другими делают их ускоренную разработку и внедрение одним из самых актуальных направлений в решении проблемы. При этом много полезного удастся почерпнуть из опыта, накопленного в этом направлении сельскохозяйственной энтомологией и териологией. Однако наиболее впечатляющие успехи достигнуты орнитологами и поэтому, рассматривая возможности и перспективы использования этологических средств в защите от биоповреждений, мы будем в основном опираться на орнитологический материал. Именно орнитологи, начав свои поиски с открытия в 50-е годы первых репеллентных сигналов и условно применив их для защиты от птиц аэродромов и посевов, впоследствии создали целое научно-практическое направление на стыке этологии с сельским хозяйством и авиацией — «управление поведением птиц».

Среди средств, наиболее часто использующихся в настоящее время в целях защиты от биоповреждений деятельности птиц, наиболее распространенные получили акустические, оптические, химические, механические (защитно-изолирующие) и экологические средства, а также комбинированные средства, основанные на совместном использовании нескольких из них одновременно. Как мы видим, в основу такой классификации положена модальность действующего начала и отчасти способ его воздействия на птиц.

Акустические средства относятся к категории наиболее известных и широко применяемых в настоящее время. Однако первые свидетельства об их использовании мы встречаем уже на египетских фресках XVIII династии, созданных за 3000 лет до н. э. На одной из наиболее известных фресок изображен охотник, вспугивающий дичь (цапель, уток и других водных птиц, затаившихся в тростнике) с помощью птицы, которую он держит за ноги и которая кричит (судя по положению подклювья и надклювья). А по-

сколько птица, взятая за ноги, издает крики, называемые в настоящее время «сигналами бедствия», то у нас есть основания полагать, что в Древнем Египте уже знали об этих сигналах, о способе их получения и их влиянии на поведение птиц. Используя «живые» магнитофоны, египтяне получали тот же эффект, которого добиваются в настоящее время специалисты в области защиты от биоповреждений с помощью современной звукозаписывающей и звуковоспроизводящей техники.

Репеллентное действие «сигналов бедствия» было вторично «открыто» в 1954 г. американским исследователем Г. Фрингсом, работающим со скворцами и чайками. В настоящее время магнитофонные трансляции сигналов бедствия и других тревожных и предупреждающих сигналов используются в качестве основного средства, отпугивающего птиц от аэродромов, посевов зерновых, виноградников, садов, крупных жилых массивов, привлекающих птиц в период летне-осенних кочевков, миграций или зимовок.

Как правило, записи транслируют в виде коротких эмиссий длительностью 20—50 с с интервалами 2—4 мин (до 30 эмиссий в 10—15 сеансах). Транслируя записи, оператор следит за поведением птиц и в случае слабой ответной реакции принимает необходимые меры. Эффект «привыкания», наступающий после многократного повторения записей, является адаптивной реакцией, которую можно преодолеть, сменив режим воспроизведения, некоторые характеристики записей или вызвав новые записи. В садах и на виноградниках применяют стационарные акустические установки с подвешенными на столбах динамиками.

Успешно используются акустические методы для рассеивания крупных зимующих скоплений птиц в южных городах, где их присутствие не только пагубно сказывается на состоянии металлических покрытий архитектурных памятников и скульптур, но также доставляет большое беспокойство жителям.

Помимо трансляции магнитофонных записей «сигналов бедствия» используют, однако с меньшим успехом, низкочастотные шумы и чистые тоны высокой интенсивности, вызывающие неприятные ощущения (сенсорный дискомфорт) у человека и животных. В принципе возможно использование в качестве средства управления любых звуков, удобных для воспроизведения и восприятия слуховой системой, в случае, если на этот звук предварительно выработан условный рефлекс хотя бы у одной из особей, присутствующей в скоплении. Своим поведением на этот хорошо знакомый ей по прошлому опыту раздражитель особь обучит остальных, ее паническое бегство будет воспринято последними как соответствующий сигнал и сыграет роль эффективно действующего репеллентного средства.

Оптические средства издавна применяются для отпугивания птиц от посевов, огородов и садов. По-видимому, задолго до нашей эры было открыто отпугивающее действие человеческой фигуры. Ее имитант в виде различных чучел, силуэтов, просто деревянных каркасов с болтающейся верхней одеждой широко применяется владельцами садов и огородов до сих пор. Точно так же из далеко-

го прошлого пришли к нам такие отпугивающие средства, как колеблющиеся гирлянды и флажки, подвески и т. д.

Применяемые в настоящее время оптические средства делятся на три категории. Первая включает натуральный раздражитель — человека, являющегося биоценотическим партнером птиц, опасным для них и хорошо знакомым. Помимо человека с ружьем, репеллентное действие которых высокоэффективно, для отпугивания птиц от аэродромов и хозяйственно важных объектов широко используются дрессированные соколы и ястребы, в некоторых странах применяют собак.

Ко второй категории оптических средств относятся имитанты биоценотических партнеров, опасных для птиц. Для отпугивания птиц от аэродромов с успехом применяют объемные макеты соколов, которые изготовлены из пластика, снабжены миниатюрным бензиновым моторчиком и управляются по радио. На радиоуправляемых моделях самолетов силуэты хищных птиц и эти модели также оказывают отпугивающее действие. Цапель отпугивают плоскими силуэтами орлов, подвешивая их вблизи рыбообразных водоемов, из которых цапли в большом количестве выедают молодь ценных пород рыб. Контуры хищников, нанесенные темной краской на стеклянные галереи, защищают последние от ударов пролетных птиц, с большой силой ударяющихся о стекла и наносящих повреждения и себе и зданию.

Третья категория отпугивающих средств основана на использовании раздражителей, вызывающих неприятные ощущения в зрительной системе и тем самым создающих сенсорный дискомфорт. К ним относятся стеклянные или зеркальные шары, которые вращаются на подвеске и в солнечный день отражают лучи в виде многочисленных ярких вспышек, раздражают сетчатку глаза и пугают птиц. Хотя действие стеклянных шаров было известно давно, в последние годы советский ученый А. Джабаров изобрел интересную и еще более эффективную модификацию в виде зеркальных осколков неправильной формы, наклеенных на пластиковый шар небольшого диаметра. В настоящее время пытаются применить для отпугивания птиц сканирующий луч лазера, действие которого основано на этом же принципе. Используя повышенную чувствительность птиц к некоторым оттенкам синего цвета, Б. М. Звонов применил синие шары для отпугивания птиц от опор линий электропередачи.

Химические средства применяются в тех случаях, когда возникает необходимость вызвать у одной из птиц дискомфортное поведение в виде судорог, рвоты и т. д., демонстрация которого на всех остальных, наблюдающих со стороны особей, должна оказать сильное репеллентное действие. Именно на этом принципе основано действие препарата альфа-хлоралозы, чаще всего используемого как снотворное средство при отлове диких животных, однако в небольших дозировках оказывающее сильный репеллентный эффект. Помимо альфа-хлоралозы для отпугивания птиц используются и другие препараты. Так, за рубежом широкое распространение получили

авитрол-100 и авитрол-200, избирательно действующие на птиц и малотоксичные для млекопитающих. Химические средства воздействия на поведение птиц занимают в настоящее время одно из ведущих мест в арсенале управляющих стимулов. Среди них наиболее часто используются 4-аминопиридин, метиокарб, полибутилен, линдан, эндрин, фентион, тиурам и др. Некоторые из них применяются в составе пищевых приманок, другие распыляются в виде растворов и дустов, третьи вводятся в состав липких покрытий. Репеллентный эффект достигается за счет того, что пораженная птица бьется в конвульсиях, издавая судорожные крики, или умирает в неестественной позе на глазах окружающих ее птиц, вызывая у последних стойкий отрицательный рефлекс на место и охраняемый человеком объект.

Среди **механических (защитно-изолирующих) средств** наиболее известными являются липкие ленты и покрытия, металлические и пластиковые ерши, мелкаячеистые навесные сети и ряд других. Все они обладают не только первично-репеллентным действием, но оказывают значительный вторичный эффект. Хорошим репеллентным эффектом обладает натянутая вдоль карниза проволока, где она отпугивает голубей, по урезу воды — действует против цапель и т. д. Хотя промышленность в настоящее время выпускает широкий ассортимент клеев и клеевых покрытий для разнообразных целей, многие из которых могут быть использованы как отпугивающее средство против птиц, так называемый «птичий клей», свойства которого приклеивать и удерживать птичьи лапки, открытые птицеловами несколько веков назад, может с успехом использоваться в настоящее время. Технология изготовления птичьего клея (в кипящем подсолнечном масле растворяется канифоль) общедоступна и может быть осуществлена на базе любого предприятия.

Экологические средства основаны на использовании жизненно важных факторов, в частности мест для устройства гнезда, укрытий, пищи и т. д. Поскольку птиц привлекают именно такие факторы, то задача заключается в том, чтобы сделать эти объекты непривлекательными для птиц. Для этой цели в зоне отчуждения вокруг аэродрома и особенно поблизости от взлетно-посадочной полосы осушают водоемы, вырубают кустарники, сохраняют луга и засаживают их картофелем. В некоторых странах вокруг взлетно-посадочной полосы сажают мелкий ельник, которого избегают птицы. В аэродромных постройках засетчивают окна и чердачные отверстия, привлекающие сизых голубей и галок, поблизости от аэродрома ликвидируют свалки, собирающие десятки тысяч чаек, ворон и других птиц. Взлетная полоса, на которую выползают дождевые черви и разные насекомые, привлекающие птиц, обрабатывается инсектицидами. Комплекс мероприятий, направленных на оздоровление экологической обстановки в районе аэродрома, включает и использование средств, отвлекающих птиц от взлетно-посадочной полосы.

Комбинированные средства предусматривают использование раздражителей разных модальностей, например оптических и акустиче-

ских, оптических и механических и т. д., и различного биологического значения. Важным принципом их объединения в репеллентный комплекс является сочетание сигнальных и экологически важных компонентов, воздействующих на птиц или демонстрирующих возможность такого воздействия. Такими экологически важными компонентами могут быть демонстрация человека со стреляющим ружьем и последствие выстрела в виде бьющихся подраненных птиц, вид и голос хищной птицы или хищного зверя и т. д. Экологически важный компонент подкрепляет действие сигнального, создавая реальность ситуации, в которой используется репеллентный сигнал. Используя этот принцип (сигнал и экологическое подкрепление), удастся существенно усилить действие репеллентных средств, сделать их пролонгированными и надежными, более эффективными. В практике репеллентных работ освоены и широко используются акустико-оптические средства, сконструированные из «сигналов бедствия» птиц и подкрепляющего действия стреляющего ружья. Эти средства дают более высокий эффект, чем при использовании «чистых» сигналов бедствия. Создание комбинированных репеллентов — одно из наиболее перспективных направлений в решении проблемы защиты от биоповреждений с помощью этологических средств.

Этологические средства защиты от биоповреждений имеют общее значение и с соответствующими уточнениями и коррективами могут быть использованы против биоповреждающих представителей других групп животных. Конечно, давние традиции и значительный опыт, накопленный в обращении с птицами в прошлом (знаменитая «соколиная охота» наших предков — это тоже управление поведением), высокий уровень науки о поведении птиц, новые успехи в изучении их ориентации, сигнализации и общения — все это позволило орнитологии несколько опередить другие науки в разработке этологических средств защиты от биоповреждений. И все же зоология в этом направлении делает первые шаги, которые должны существенно ускориться в будущем.

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ

Млекопитающие — высший класс позвоночных. Они характеризуются высоким уровнем развития нервной системы (имеется вторичная кора полушарий, образованная серым мозговым веществом), который обеспечивает высокий уровень нервной деятельности и сложное приспособительное поведение. Хорошо развиты органы чувств, особенно органы слуха и обоняния. Большое значение имеет приобретение теплокровности, возникшей благодаря несмешанному кровообращению, усилению газообмена и наличию терморегулирующих приспособлений (волосной покров и развитие кожных желез).

Быстрое прогрессивное развитие млекопитающих обусловлено также живорождением с последующим выкармливанием детенышей молоком.

Млекопитающие распространены повсеместно, заселяют все среды, включая почву, водоемы и приземные слои атмосферы. Играть основную роль почти во всех биоценозах. Вся группа имеет очень важное значение для человека. Среди млекопитающих имеются сельскохозяйственные животные, промысловые виды, хранители болезней человека и домашних животных, вредители сельского и лесного хозяйства, материалов и сооружений. Наибольший вред различным объектам и сооружениям причиняют грызуны. Помимо грызунов повреждения материалам наносят зайцы и парнокопытные.

Систематический статус биоповреждающих групп

Отряд зайцеобразных (Lagomorpha) отличается от грызунов строением костного неба, имеющего вид узкого поперечного мостика между верхними зубными рядами, и наличием двух пар верхних резцов (рис. 39). Вторая пара резцов развита слабее и располагается позади основной пары. У зайцеобразных нет клыков и на их месте имеется промежуток — диастема. В отряде два семейства (около 60 видов).

Семейство **пищуховых (Ochotonidae)** объединяет небольших (длина тела 12—25 см) короткоухих и коротколапых зверьков, распространенных у нас в горных областях и предгорных

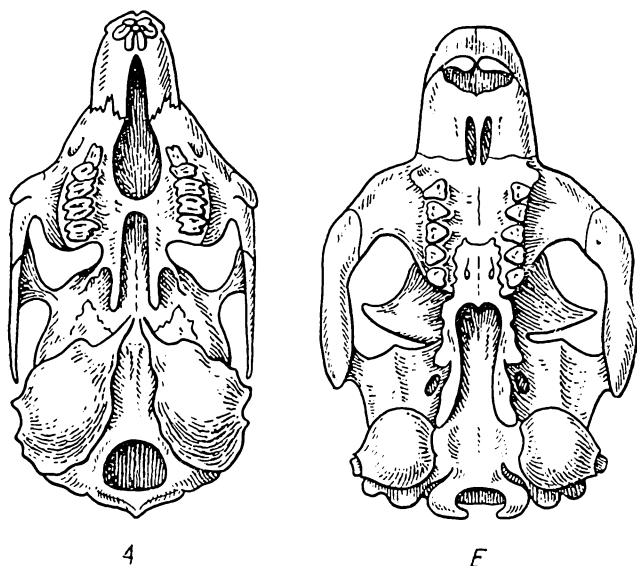


Рис. 39. Строение костного неба:

А — зайцеобразные (пищуха); Б — грызуны (сурок)

равнинах юго-восточной Европы и Азии. Ареал северных пищух доходит до Полярного круга. Поселяются колониями, живут в норах и каменистых россыпях. Растительоядные. На зиму делают запасы: сушат траву и складывают ее в стожки либо прячут под камни. Могут вредить сельскому хозяйству, принося ущерб пастбищам.

Семейство зайцевых (*Leporidae*) включает более крупных животных с длиной тела от 30 до 60 см. Уши длинные; задние конечности значительно длиннее передних, хвост короткий, но хорошо заметен снаружи. Населяют разнообразные природные зоны — от тундры до пустыни, поднимаются в горы, в альпийские луга. Объекты пушного промысла вредят садам и лесопосадкам. Известны случаи повреждения зайцами проводов, проложенных на поверхности земли. В фауне СССР встречаются четыре вида зайцев (заяц-беляк, заяц-русак, заяц-толай и маньчжурский заяц) и кролик. Последний был завезен и акклиматизирован на юге Украины. В настоящее время имеются колонии близ Одессы, в Николаевской и Херсонской областях. В отличие от зайцев детеныши кроликов рождаются голыми и слепыми. Для зайцев известны колебания численности по годам.

Отряд парнокопытных (*Artiodactyla*) объединяет крупных и средней величины животных с высокими ногами, способных к быстрому бегу. Конечности четырехпалые, третий и четвертый пальцы крупные (длинные) и служат опорой, второй и пятый пальцы значительно меньше, ключиц нет. Концевые фаланги пальцев одеты роговыми копытами. Желудок сложного строения, растительоядные. Преимущественно стадные животные, образующие иногда скопления до нескольких тысяч голов. Ведут кочевой образ жизни, многие виды совершают регулярные сезонные миграции.

Отряд включает два подотряда: нежвачных и жвачных. К подотряду нежвачных (*Nonruminantia*) принадлежит кабан, широко распространенный на территории СССР. Места обитания разнообразны, излюбленные места — густые тростниковые заросли и непроходимые чащи кустарников по берегам озер, рек и горным склонам. Всяядное животное, местами наносит существенный вред сельскому хозяйству. Может вредить роющей деятельностью, в частности кабелю, проложенному на небольшой глубине.

В подотряде жвачных (*Ruminantia*) северный олень, лось и настоящий олень, встречающиеся на территории СССР, совершают сезонные миграции и кочевки. У северного оленя они достигают нескольких сотен километров. Во время миграций оленей возможны повреждения наземного кабеля. Подобные случаи отмечали при выпасе крупного рогатого скота. В Аляске отмечены повреждения оленями трубопроводов в местах пересечения с миграционными путями животных.

Поскольку грызуны (по сравнению с другими млекопитающими) имеют наибольшее значение как источник биоповреждений, весь остальной текст этой главы посвящен этому отряду.

Отряд грызунов (Rodentia) насчитывает 2800 видов, широко распространенных по земному шару. В нашей стране они заселяют все районы и зоны от пустынь Средней Азии до тундр и островов Ледовитого океана, поднимаясь в горы до высоты 4,5 тыс. метров над уровнем моря. Название отряда отражает специфическое строение челюстного аппарата: сильно развитые резцы обладают постоянным ростом. Их наружная поверхность образована твердой эмалью, остальная часть зуба — рыхлым дентином (рис. 40). Разность в скорости стирания этих частей зуба обеспечивает постоянную остроту режущего края. Клыков нет, и на их месте имеется промежуток, называемый диастемой. Поверхность предкоренных и коренных зубов — со слегка выступающими гребнями эмали или бугорчатая — приспособлена к перетиранию грубой растительной пищи. Пищеварительный тракт

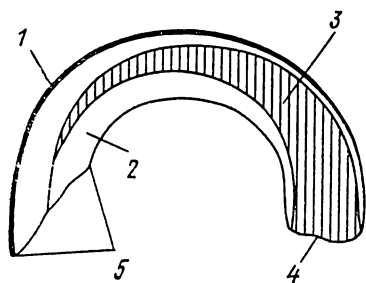


Рис. 40. Строение резца у грызунов:

1 — эмаль, 2 — дентин, 3 — полость зуба, 4 — отверстие полости на заднем конце резца, 5 — поверхность стирания

длинный; обычно имеется большая слепая кишка. Мелкие виды грызунов отличаются ранним созреванием и высокой плодовитостью.

Челюстной аппарат грызунов — мощный и чрезвычайно специализированный. Твердость эмали на резцах определена как 5,0—5,5 единиц по шкале Мооса. Сильное развитие массетера — мышцы, обеспечивающей движения нижней челюсти при грызении и жевании, дает возможность создавать значительные усилия на концах резцов при минимальном механическом проигрыше благодаря концентрации мышечной массы

на механически более выгодном рычаге. Проведенные измерения показали, что при грызении твердых предметов на режущем крае резцов у серой крысы развивается усилие в 940 кг/см², у белки — 1500 кг/см². Грызение — специфическая для всех грызунов форма мышечной деятельности. Возникнув в процессе эволюции в связи с питанием твердой растительной пищей, грызение приобрело затем в известной степени самостоятельное значение. Произошло разделение функции грызения на грызущую деятельность, связанную непосредственно с актом еды, и непищевое грызение, многофункциональное по своему характеру. С непищевым грызением связаны, в частности, строительство гнезд и жилищ, рытье нор резцами, необходимость стачивать резцы и т. п. Помимо этого непищевое грызение представляет собой форму ориентировочно-исследовательского поведения — «ознакомительное поведение». Эксперименты показали, что у грызунов всегда началу еды предшествует прикусывание резцами пищевого объекта. Такое же прикусывание помимо обнюхивания и касания вибриссами отмечено при исследовании зверьками незнакомых предметов.

Интенсивность грызущей деятельности тесно связана с биологией разных видов грызунов, характером питания, типом нор и убежищ. Наибольшая грызущая активность отмечена у видов, роющих сложные норы (особенно в твердом грунте), питающихся семенами в твердых оболочках или твердыми частями растений (бобры, ондатра, пластинчатозубая крыса, песчанки, слепушонки и др.).

Роль грызунов в жизни природы и в народном хозяйстве велика и разнообразна. Они одни из наиболее влиятельных членов биоценозов Арктики (лемминги), тайги (белки, полевки), широколиственных лесов (полевки, мыши, сони и др.), степей, полупустынь и пустынь (сурки, суслики, песчанки, хомяки и др., рис. 41). В степях, полупустынях и пустынях их роющая деятельность служит важным фактором почвообразования, оказывает влияние на развитие эрозии. Рыхление почвы, вынос на поверхность подпочвенных слоев, часто сплошное выедание растений на местах обитания грызунов влияют на видовое разнообразие луговых, степных и пустынных растительных ассоциаций, способствуют расселению сорняков. Мелкие мышевидные грызуны служат кормом для таких ценных пушных зверей, как соболь, куница, норка, лисица, для дневных хищных птиц и сов. Бобр, белка, ондатра, сурки — важный объект пушного промысла. Многие мышевидные грызуны хранят и передают опасные болезни человека и домашних животных: чуму, туляремию, энцефалит, лептоспироз, риккетсиозы и др. Значительный вред они наносят сельскому и лесному хозяйствам, запасам продовольствия, повреждают тару, различные материалы, изделия и сооружения.

Наибольшее число вредящих видов принадлежит к семействам мышиных и хомякообразных. В семействе беличьих значительный вред приносят суслики. В основном это грызуны мелкого и среднего размера. Все они растительноядны, но в рационе мышей, хомяков, песчанок определенную долю составляет животный корм, в основном насекомые. Серая крыса всеядна.

К семейству мышиных (Muridae) относятся домовая мышь и крысы — серая (пасюк) и черная, издавна заселяющие постройки человека. Своим широким распространением они (особенно домовая мышь и серая крыса) обязаны человеку, вслед за которым по транспортным путям проникли на север до Полярного круга и на юге в зону пустынь. Эти грызуны только на севере держатся круглый год в постройках человека. В средней полосе и на юге в теплое время года они обычно выселяются в открытые биотопы. Кроме перечисленных в СССР встречается еще 8 видов этого семейства. В Средней Азии живут пластинчатозубая и туркестанская крысы; поселяясь в жилище человека, они, подобно серой крысе, портят продукты, вещи и др. Пластинчатозубая крыса причиняет также значительный вред своей роющей деятельностью: роет сложные норы с большим количеством ходов, повреждая при этом земляные полы и глинобитные стены построек, а также берега оросительных каналов. Из мышей широко распро-

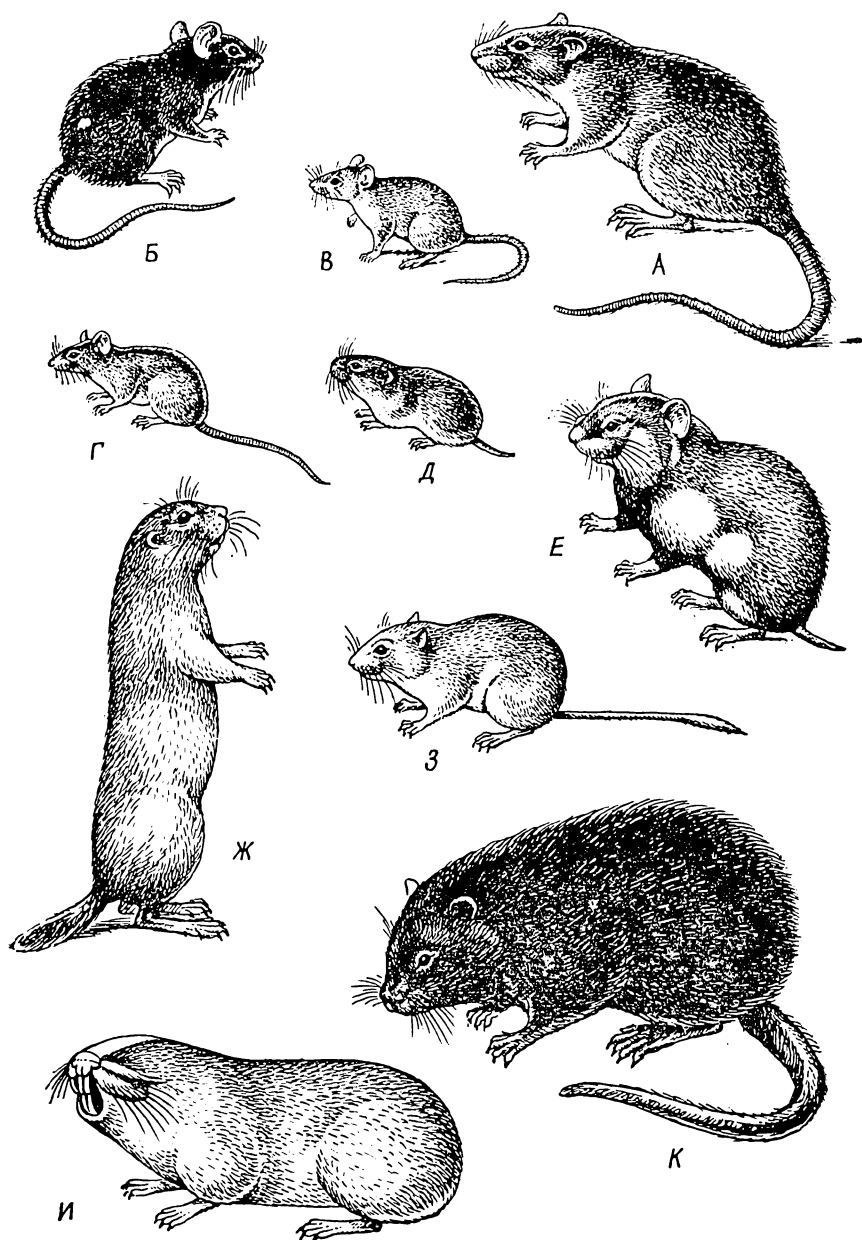


Рис. 41. Грызуны:

А — серая крыса; Б — черная крыса; В — домовая мышь; Г — полевая мышь; Д — обыкновенная полевка; Е — хомяк обыкновенный; Ж — суслик; З — большая песчанка; И — слепыш обыкновенный; К — ондатра

странены полевая, желтогорлая и лесная. На Дальнем Востоке и в Восточной Сибири встречается более крупная азиатская лесная мышь. Зверьки вредят сельскому хозяйству и лесовозобновлению. Черные крысы вредят урожаю цитрусовых, туркестанская крыса — орехов. Большой вред приносят синантропные грызуны, уничтожая и загрязняя запасы продовольствия, фуража, повреждая бумагу, ткани, кабель и др. Особую опасность представляет в этом отношении серая крыса, которая в последние годы интенсивно расселяется в районы, где она прежде не встречалась. Этому способствует, в частности, развитие орошаемого земледелия и животноводства.

К семейству хомякообразных (Cricetidae) принадлежат грызуны, вредящие зерновым культурам, лугам, пастбищам, лесным насаждениям. Большая часть представителей семейства — обитатели открытых ландшафтов, немногие обитают в лесах. Некоторые грызуны ведут подземный образ жизни. Семейство хомякообразных включает три подсемейства: хомяков, полевок и песчанок.

Хомяки, в основном, обитатели открытых степных и пустынных ландшафтов. Обыкновенный хомяк и серый хомячок распространены в лесостепной зоне. Населяют юг европейской части СССР, Кавказ, Заволжье, Казахстан, Среднюю Азию, юг Западной Сибири, Туву, Приморский край. Хомяки заселяют возделанные земли, межи и поля, нераспаханные участки. Некоторые виды встречаются в населенных пунктах на приусадебных участках и в жилых постройках. Роят сложные норы с камерами для хранения запасов. Питаются зелеными частями растений, семенами, корнеплодами, насекомыми. Делают большие запасы на зиму (обыкновенный хомяк — до 20 кг). Очень плодовиты, особенно обыкновенный хомяк, который приносит до трех пометов в год, в среднем по 10 детенышей (максимально 15—20). У остальных видов бывают по 2—3 помета, число детенышей от 4 до 9. Наибольший вред сельскому хозяйству и, местами, лесовозобновлению приносят обыкновенный, дагестанский и закавказский хомяки. Серый и даурский хомячки вредят также в жилых помещениях и складских постройках.

Песчанки распространены в сухих степях, полупустынях и пустынях равнин, предгорий и частью горных районов Северной Африки, Передней и Малой Азии, Кавказа и северо-восточного Предкавказья до юго-восточного Казахстана, Забайкалья, Монголии и Китая. Обычно заселяют неосвоенные земли. Однако краснохвостая, малоазийская, гребенщикова и монгольская песчанки охотно селятся на орошаемых участках, вблизи поселков. Норы монгольской песчанки отмечены на приусадебных участках. Размножаются в течение теплого времени года, за сезон бывает 2—3 помета. В выводке от 2 до 7—8 детенышей. Зимней спячки нет, но некоторые виды делают на зиму запасы, иногда значительные, из семян диких растений и культурных злаков. Малоазийская и персидская песчанки не роют сложных нор, остальные

виды делают норы различной сложности. Наибольшей сложности и глубины достигают норы большой песчанки.

Вредят растениям, укрепляющим пески, пастбищам, посевам зерновых, хлопка. Большая песчанка вредит, кроме того, саксауловым лесам. Активная роющая деятельность этих грызунов разрушает берега оросительных каналов, железнодорожные насыпи и т. п.

Полевки населяют практически всю территорию нашей страны. Среди них есть грызуны, ведущие подземный образ жизни и редко выходящие на поверхность (слепушонки, цокоры). Ондатра и водяная полевка ведут полуводный образ жизни, поселяясь на берегах водоемов и каналов. Большинство же полевок заселяют разнообразные местообитания. Делают норы разной степени сложности. Все полевки растительноядны, с преобладанием в корме зеленой растительности. Очень плодovиты. Самка приносит в год 2—3 помета по 5—6 детенышей в каждом. Характерно раннее наступление половой зрелости: самки могут приступать к размножению в возрасте трех недель, самцы — 1—1,5 месяцев. При благоприятных условиях размножение в популяции может идти круглый год. Это обуславливает вспышки высокой численности у многих видов этого подсемейства.

Многие виды — серьезные вредители сельского хозяйства: обыкновенная и общественная полевки, степная пеструшка, полевка Брандта, водяная полевка и др. Лесному хозяйству вредят рыжая европейская и красная сибирская полевки. Ондатра повреждает ирригационные сооружения.

Принадлежащие к семейству беличьих (Sciuridae) суслики распространены в южной половине европейской части СССР и на восток от пустынь и гор Средней Азии до Якутских степей и тундр Северо-Восточной Сибири. Населяют открытые ландшафты — лесостепи, степи и полупустыни. Селятся на лугах, пастбищах, выгонах, межах, нераспаханных участках среди полей. Питаются преимущественно сочными травянистыми побегами, луковичками, зернами (главным образом на ранних стадиях зрелости). Запасов на зиму не делают. Размножаются весной раз в году. В помете от 2 до 15 детенышей. Все сусликипадают в зимнюю спячку. Пустынным видам свойственна еще летняя спячка, вызванная ухудшением кормовой базы — выгоранием растительности. Летняя спячка обычно без перерыва переходит в зимнюю. Селятся колониями. Норы глубокие (до 2 м глубины) и длинные, сложного строения, особенно у степных и пустынных видов. Важнейшие вредители сельскохозяйственных культур, пастбищ, лесопосадок.

Семейство бобры (Castoridae) — наиболее крупные из современных грызунов (достигают до 1 м в длину), приспособленные к полуводному образу жизни в замерзающих водоемах. Ранее бобры широко населяли лесную зону северного полушария. Однако из-за ценного меха были сильно истреблены. В настоящее время благодаря принятым мерам численность бобров в ряде рай-

онов европейской части СССР восстанавливается. Населяют берега лесных рек с медленным течением, стариц и озер. Широких и быстро текущих рек избегают. Селятся поодиночке или семьями. Основной тип жилищ — норы и хатки. Последние строятся на низких заболоченных берегах или отменях и представляют собой конусообразные кучи хвороста, скрепленного илом, высотой 1—3 м, диаметром до 10 м. В водоемах с колеблющимся уровнем бобры строят плотины из стволов деревьев, веток и хвороста, скрепленных илом, глиной, дерном и т. п. Деревья для постройки плотины заготавливают, подгрызая их близ основания ствола. Мощные резцы дают возможность выполнять эту работу: дерево диаметром 10—12 см бобр валит и разделяет в течение одной ночи. Пищей бобрам служат кора и тонкие ветви деревьев и водные травянистые растения.

Кроме перечисленных в фауне СССР представлены еще 7 семейств этого отряда. Однако повреждения материалов этими грызунами не зарегистрированы.

Образ жизни, поведение млекопитающих

Большинство грызунов ведут наземный образ жизни, питаясь вегетативными частями растений, семенами и плодами. Подавляющее большинство при этом роет норы различной сложности и протяженности, иногда с большим числом подземных камер, отнорков и сложной системой ходов. Это мелкие мышевидные грызуны, крысы, хомяки, песчанки, суслики, тушканчики и др. Для многих полевок, пеструшек помимо подземных ходов характерна сеть поверхностных тропинок, соединяющих выходы из нор с местами кормежки, отнорками и т. п. Это позволяет зверькам быстро передвигаться по своей территории. Рыжие лесные полевки, лесные и желтогорлые мыши делают наземные убежища в корнях деревьев, под валежником, иногда невысоко над землей в дуплах. Эти грызуны довольно хорошо лазают.

Норы хомяков, сурков, больших песчанок достигают большой степени сложности. Глубина их залегания достигает 2 м. Наиболее совершенный копатель — это большая песчанка. Ее норы обычно являются результатом многолетней деятельности нескольких поколений зверьков. Ходы располагаются в 2—3 яруса, имеются гнездовые камеры, отнорки. Часто на «колониях» большой песчанки поселяются другие виды грызунов, ведущие одиночный образ жизни (например, полуденная песчанка). Здесь же находят защиту от палящих лучей солнца пресмыкающиеся (степная черепаха, ящерицы, змеи), заяц-толай и даже птицы (рис. 42).

Некоторые грызуны, такие, как белки, летяги, сони, — типичные древесные животные. Они хорошо лазают по ветвям, легко перепрыгивают с одного дерева на другое (летяги планируют). Их убежища располагаются на деревьях, чаще в дуплах. Отмечены беличьи гнезда в скворешниках и постройках человека.

Распространение некоторых видов грызунов тесно связано с водоемами. Они имеют ряд морфологических приспособлений для жизни в водной среде (плавательная перепонка, строение мехового покрова и др.). Это водяная полевка, ондатра, нутрия, бобры. Норы этих грызунов располагаются либо на крутом берегу водоема (обычно с выходом под воду), либо на островках и сплавинах. Бобры строят, кроме того, «хатки».

Наилучшие землерои среди грызунов — виды, ведущие подземный образ жизни, — слепушонки, цокоры, слепыши, а также туш-

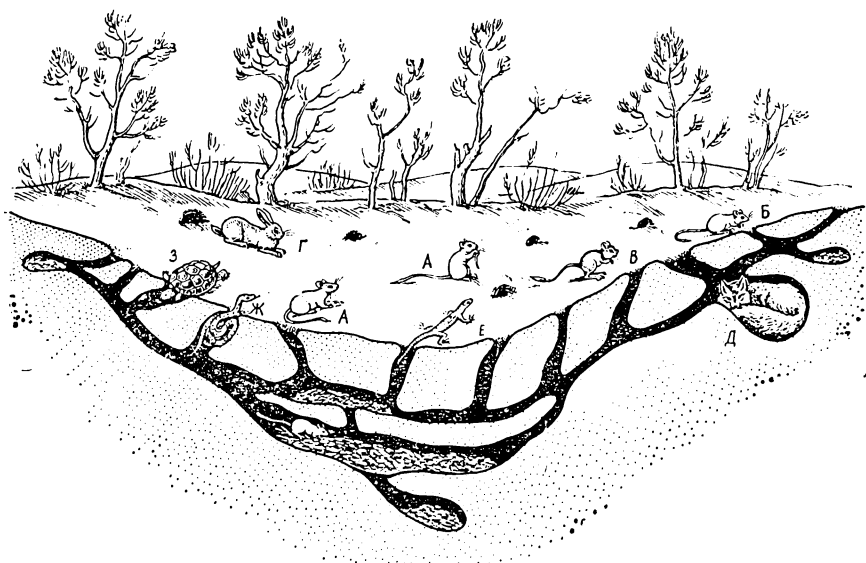


Рис. 42. Схема колоний большой песчанки (по Н. П. Наумову, 1979):

А — большая песчанка, Б — полуденная песчанка; В — тушканчик-емуранчик; Г — заяц-толай; Д — лисица, Е — ящурка; Ж — щитомордник; З — степная черепаха

канчики, степные и пустынные полевки. У них особенно усиливается часть челюстного аппарата, разрыхляющая грунт, — резцы. Они выдвинуты из ротовой полости, и угол их наклона по отношению к оси черепа увеличен. Ротовая полость защищена от попадания частиц почвы складками кожи, покрытой мехом, складки вагибаются на диастему и отделяют ротовую полость от резцов.

Грызуны, ведущие настоящий подземный образ жизни, практически всю жизнь проводят в норах, не появляясь на поверхности. У слепышей не развиты глаза. Интересен тип рытья нор у слепыша: зверек как бы выгрызает землю своими мощными резцами в отличие от пятипалых тушканчиков, которые действуют резцами как отбойным молотком, разрыхляя грунт серией частых ударов.

В распространении роющих грызунов можно отметить связь с различными типами грунта. Так, например, обыкновенный сле-

пыш, цокор, крапчатый суслик встречаются на черноземных почвах. Для глинистой пустыни характерны желтый суслик, пятипалые тушканчики. Обитатели песчаных пустынь (большая песчанка и полуденная песчанка, тонкопалый суслик и др.) хорошо приспособлены к передвижению по песчаному грунту и рытью нор в рыхлом песке: у них развит густой волосяной покров на подошвах.

Влажность — важный фактор, влияющий на распространение грызунов и чаще всего действующий в совокупности с другими, в частности с характером и распространением растительности. Однако некоторые виды в своем распространении связаны с влажным климатом (например, в лесной зоне), так как здесь произрастают растения, служащие кормом для этих грызунов (например, лесная и полевая мыши, многие полевки). Распространение многих видов приурочено к поймам рек (хотя они могут встречаться и в других биотопах). Например, лесная мышь по пойменным лесам заходит в зону лесостепи и степи. Развитие орошаемого земледелия способствует проникновению влаголюбивых видов в засушливую зону.

Велика зависимость грызунов и от растений. Распространение некоторых видов прямо связано с распространением некоторых растений или растительных сообществ. Например, ареал бурундука совпадает с ареалом некоторых хвойных пород, а ареал сонь — с ареалом широколиственных пород. Такая зависимость наиболее резко выражена у видов — стенофагов, т. е. питающихся желудями, орехами, семенами хвойных и широколиственных пород.

Грызуны сумели приспособиться к обитанию в разнообразных условиях и заселить все зоны от пустынь до тундры и островов Ледовитого океана. У грызунов, ведущих зимой активный образ жизни, хорошо выражены сезонная смена мехового покрова, накопление токоферола и жира и малая интенсивность химической терморегуляции. Некоторые животные с наступлением холодов впадают в спячку, имеющую характер длительного оцепенения. Это сурки, суслики, мы-

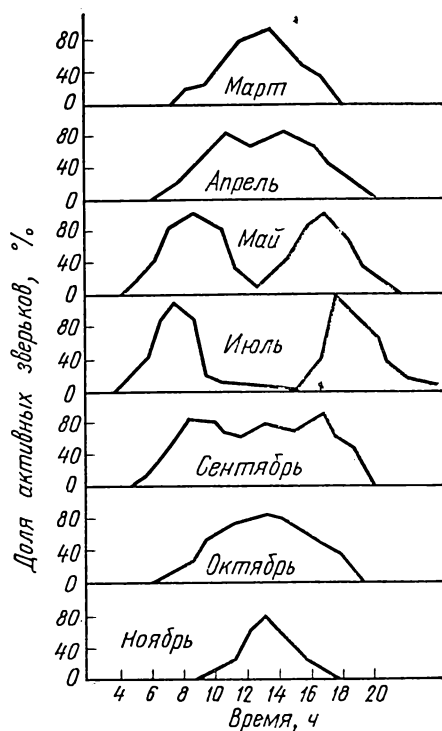


Рис. 43. Сезонные изменения суточной активности больших песчанок (по М. В. Шеханову, 1962)

шовки. Наступлению спячки предшествует перестройка многих физиолого-биохимических процессов в организме, происходит накопление жира, аскорбиновой кислоты и витамина Е, уменьшение содержания воды в организме. Спячка в природе наступает под воздействием внешних факторов: понижения температуры, изменения светового режима, химизма и содержания влаги в корме. У некоторых пустынных видов имеется и летняя спячка, вызванная ухудшением кормовой базы в связи с выгоранием растительности. У большинства видов летняя спячка без перерыва переходит в зимнюю.

Хомяки, сони, белки, некоторые песчанки в холодное время года имеют менее длительную и не столь глубокую спячку или кратковременные перерывы в активности при неблагоприятной погоде. Эти грызуны делают обычно запасы пищи на зиму и размещают их либо в специальных камерах (хомяки, песчанки), либо в дуплах (белки, бурундуки), под корнями деревьев и в других укромных местах. Белки также запасают грибы, развешивая их на ветках деревьев. Курганчиковая мышь свои запасы засыпает почвой, при этом образуется курганчик. Запасы на зиму делают мыши и полевки, сохраняющие активность и в холодное время. Они запасают плоды и семена, клубни, корневища, вегетативные части растений. В неблагоприятную погоду у них также отмечено снижение активности.

Нормальный теплообмен со средой достигается также сменой периодов суточной активности; например, большие песчанки зи-

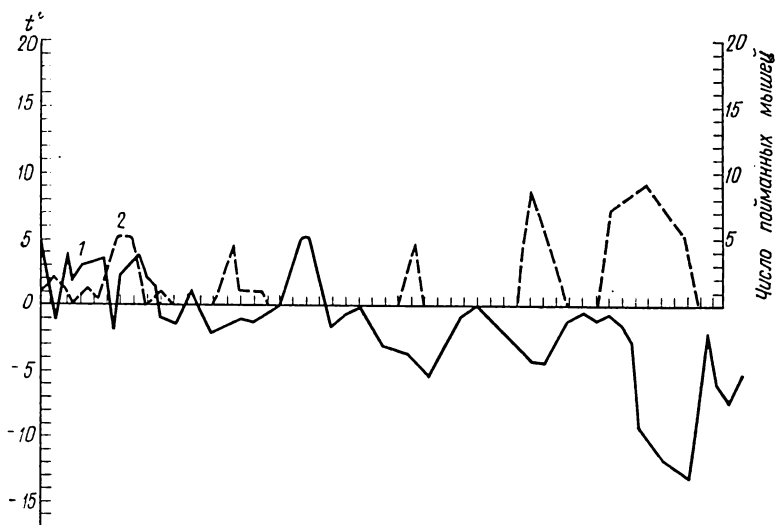


Рис. 44. Вселение домовых мышей с полей в населенные пункты осенью (по Н. В. Тупиковой, 1947):

1 — минимальная температура на поверхности почвы, 2 — улов мышей в домах

мой выходят из нор только в ясные и относительно теплые дни и ненадолго. Весной и осенью они деятельны всю светлую часть суток и особенно в середине дня (10—16 ч). Летом максимум активности у них приходится на утренние и вечерние часы (рис. 43). В жаркое время они отсиживаются в норах. Полуденные и краснохвостые песчанки летом строго ночные животные, а в остальное время года часто выходят из нор днем. От холода и перегрева грызунов защищают норы. Мыши и полевки делают зимой теплые гнезда. При высоком снежном покрове полевки прокладывают ходы по поверхности земли под снегом, делают подснежные зимние гнезда. Осеннее понижение температуры воздуха и почвы вызывает массовые перекочевки мышей и полевок в населенные пункты, стога и ометы, на посевы многолетних трав (рис. 44).

Таким образом температура среды имеет важное сигнальное значение, регулируя сроки и направление передвижений и размножение грызунов.

Размножение, территориальные отношения, численность млекопитающих

Сроки начала размножения связаны с длительностью развития зародышей, так как появление молодых обычно приурочено ко времени обилия корма и благоприятных условий развития. Мелкие мышевидные грызуны (мыши, полевки, хомячки) быстро растут и рано достигают половой зрелости (иногда к месячному возрасту), если они питаются полноценным кормом, особенно семенами растений. В этом случае они приносят выводки через короткие интервалы (35—45 дней) с большим количеством детенышей.

При недостатке корма зверьки растут медленно, размножение резко сокращается или прекращается. В годы с плохими кормовыми условиями даже весенние выводки к осени не достигают зрелости и приступают к размножению лишь весной следующего года. Осеннее уменьшение обилия корма и ухудшение качества его оказывает также влияние на позднелетние и осенние выводки — они развиваются медленно и уходят на зимовку незрелыми. При теплой осени и массовом прорастании семян нового урожая, богатого витаминами корма (особенно витамином Е), ускоряется созревание даже поздних выводков. Они приступают к размножению, которое может продолжаться в течение всей зимы (А. Н. Формозов, 1937; Н. П. Наумов, 1948).

Независимо от погоды продолжается зимой размножение полевок, некоторых мышей в стогах сена, ометах соломы, необмолоченных скирдах. Температура тела обыкновенных полевок при этом оказалась на 1—1,5° выше, нежели у зверьков, живущих в полях и норах (Н. Д. Стрельников, 1940; В. В. Кучерук, 1953).

У пустынных и многих степных грызунов (тушканчиков, песчанок, полевок) размножение прерывается при наступлении сухого

жаркого времени и возобновляется при осеннем снижении температуры. Отклонение от температурного оптимума у обыкновенной и общественной полевки сопровождается обычно сокращением плодовитости или прекращением размножения.

Отдельные особи существуют только как части целостного вида. Они объединены в естественные совокупности — популяции. Структура популяции возникает в ходе общения животных и отражает их видовые и индивидуальные особенности. Основой образования популяционной структуры служит «ранжирование» особей, приобретающих разное положение в группе.

Пространственная структура популяций выражается в закономерном размещении особей и их группировок по отношению к определенным элементам ландшафта и друг к другу и отражает свойственный данному виду тип использования территории.

Закономерное распределение особей в пространстве — основа всех форм нормальной жизнедеятельности популяции. Оно определяет наиболее эффективное использование ресурсов среды — кормовых, защитных, микроклиматических и др. Второй аспект биологического значения пространственной структурированности популяций — она служит основой устойчивого поддержания необходимого уровня внутривидовых (внутрипопуляционных) контактов между особями.

Особи, входящие в ту или иную популяцию, живут изолированно и ведут одиночный образ жизни либо объединяются в группы или колонии и ведут групповой образ жизни. Для удовлетворения потребностей животным необходима такая территория, на которой находилось бы достаточное количество кормов (запасы их должны возобновляться), убежища и благоприятный микроклимат.

С потребностями в территории и способами их удовлетворения связан образ жизни животных, определяемый морфофизиологическими и экологическими особенностями видов. Основное значение имеют характер питания, конкурентные отношения между особями и их группами внутри вида, отношения с другими видами, размножение и потребность в убежищах. Существуют два основных типа образа жизни: одиночный (в сезон размножения часто переходит в одиночно-семейный) и групповой.

При одиночном образе жизни каждое животное существует на индивидуальном участке. Индивидуальные или семейные участки свойственны многим видам грызунов, например белкам, сохраняющим семейные участки и зимой. У мышей каждый оседлый зверек живет на определенной территории, но участки отдельных особей хотя и постоянны, но не изолированы и часто перекрывают друг друга. У желтогорлых мышей участки самок в сезон размножения изолированы друг от друга. Подвижность мышей в зимне-весеннее время и в начале лета невелика и индивидуальные участки ограничиваются десятками или сотней квадратных метров. Ко времени созревания основного урожая семян их площадь увеличивается до 2—3 тыс. м². У рыжей полевки изолиро-

ванные друг от друга участки также имеют размножающиеся самки. Индивидуальные участки молодых полевок и взрослых самцов взаимно перекрываются и совмещаются с участками размножающихся самок. Участки половозрелых самцов в сезон размножения особенно велики (1000—4500—2700 м² в среднем); у размножающихся самок их средняя величина составляет 600 м² (100—1100). После сезона размножения различие исчезает и участки становятся приблизительно равными.

Зачастую индивидуальные участки у грызунов не так уж строго изолированы, но территория близ норы с гнездом строго охраняется. У обыкновенной полевки норы занимаются семьей или одиночным зверьком на небольшой срок, затем они переселяются в соседние незанятые норы или роют новые. В освободившееся же через небольшой промежуток могут вселиться новые обитатели и т. д. Каждая семья таким образом периодически меняет убежища в пределах определенного участка. Подобный тип землепользования отмечен у больших песчанок. Переселяясь из норы в нору, зверьки перетаскивают молодых, даже когда они еще слепые и голые. Частую и регулярную смену убежищ подобного характера наблюдали также у белок, сусликов, других песчанок, полевок, мышей и хомячков. Это связано с появлением большого количества эктопаразитов в гнездах и загрязнением нор и ходов экскрементами.

Убежища во многих случаях лимитируют численность и распределение животных. У животных с одиночным образом жизни обычно возникает необходимость маркирования занятых участков. У млекопитающих для этой цели служат пахучие железы.

Общее биологическое значение одиночного или индивидуально-семейного образа жизни заключается в том, что с помощью раздельного владения территорией у животных, привязанных к определенным убежищам, обеспечивается выкармливание и охрана молодняка либо переживание неблагоприятных сезонов. Такой способ использования мест обитания свойствен видам с ограниченными способностями к передвижению, но возможен лишь там, где запасы корма большие и распределены относительно равномерно.

Наряду с одиночным существует групповой образ жизни. Объединение животных в группы дает им ряд преимуществ и способствует более полному освоению среды.

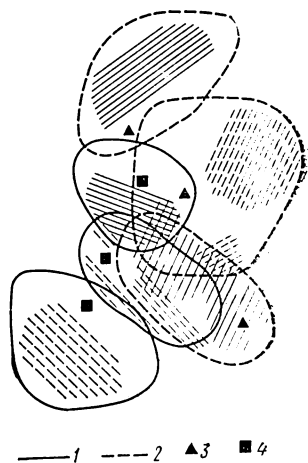


Рис. 45. Индивидуальные участки малых сусликов (по А. Н. Солдатовой, 1962):

1 — границы индивидуальных участков самок, 2 — то же, самцов, 3 — гнездовые норы самцов, 4 — выводковые норы самок. Заштрихованы предпочитаемые каждым зверьком места кормежки

Такой тип групповых объединений животных свойствен живущим в редкотравных степях и пустынях сусликам, суркам, большим песчанкам, некоторым полевым. Эти поселения существуют в местах с достаточным количеством корма и обеспечивают лучшие возможности для обнаружения хищников (особенно птиц). При тесном сожительстве и постоянном общении соседей эти животные в пределах поселения имеют свои индивидуальные или семейные участки. Отдельные кормовые площадки часто используются зверьками совместно. В таких колониях могут поселяться другие виды, ведущие одиночный образ жизни (рис. 45).

Численность многих грызунов подвержена колебаниям. Это результат воздействия на их население факторов внешней среды,

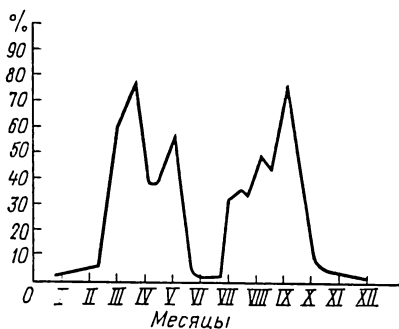


Рис. 46. Изменение процента беременных самок в популяции водяных полевок в дельте Волги (по Г. А. Кондрашкину, 1946)

а также межвидовых и внутривидовых отношений. Условия внешней среды чаще всего не оказывают непосредственного влияния на зверьков. Их действие опосредовано через видоспецифические популяционные адаптации и механизмы. Однако в некоторых случаях климатические факторы могут оказывать и прямое воздействие на поведение грызунов или вызывать их гибель. В частности, атмосферные осадки в виде ливневых дождей могут вызвать массовую гибель полевок в результате затопления нор. Более подвижные и хорошо лазающие мыши при этом чаще избегают гибели. Массовая ги-

бель грызунов происходит и во время половодий. Их также успешней переживают виды, способные к лазанию и плаванию. Интересно отметить, что у водяной полевки в период половодья прекращается размножение (рис. 46).

Температура внешней среды тоже может оказывать прямое воздействие на грызунов. Их массовая гибель отмечается в суровые малоснежные зимы при глубоком промерзании почвы и во время оттепелей при затоплении нор.

Повышение численности мелких грызунов редко имеет характер взрыва, когда неожиданно очень резко возрастает численность того или иного вида. Крупным подъемам предшествует целый ряд небольших подъемов, чередующихся с понижениями. Для средней полосы пики численности наступают раз в 10—11 лет (рис. 47). Увеличению численности обычно предшествуют годы с благоприятными метеорологическими условиями, хорошими по обилию корма, что способствует успешному размножению животных.

Важным условием динамики численности служат плотность популяции и ее структура, меняющиеся в зависимости от подъема или падения численности. При росте численности обычно уси-

ливается конкуренция за убежища, возрастает опасность недостатка корма, усиливается истребительная деятельность хищников, начинают действовать механизмы, ограничивающие размножение, возрастает подвижность. В природе все это приводит неизбежно к сокращению численности. По мере роста численности сокращаются индивидуальные участки, уменьшаются размеры особей, увеличивается совместное использование территории и обычно сни-

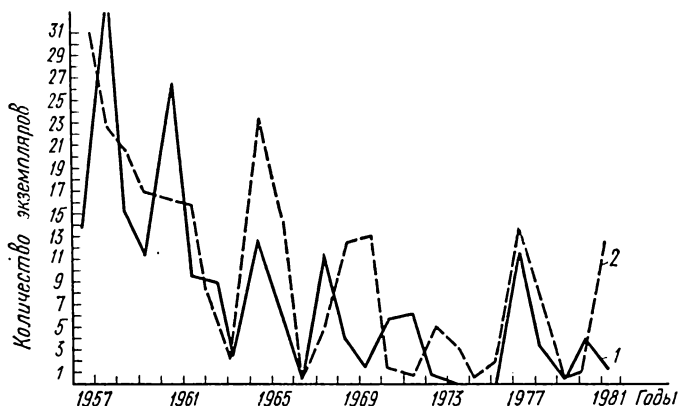


Рис. 47. Динамика численности мелких млекопитающих в Кандалакшском заповеднике (по И. С. Бойко, 1984):

1 — островные популяции, 2 — береговые популяции

жается плодовитость. При высокой плотности усиливается расселение, принимающее форму массовых откочетов и нашествий.

Крупные подъемы численности мелких грызунов обычно заканчиваются ее снижением, а иногда глубокой и длительной депрессией.

При большом росте численности и увеличении плотности популяции, по мере ухудшения питания, нехватки убежищ снижаются темпы роста (более мелкие особи), происходит задержка полового созревания у мелких грызунов. Уменьшается интенсивность размножения, причем это явление имеет рефлекторный характер: у видов с четко выраженными индивидуальными участками особи при высокой плотности популяции, не нашедшие для себя свободной территории, не приступают к размножению.

При падении численности наблюдаются обратные явления — ускорение роста и развития и усиление размножения. Повышается доля самок в популяции.

При резком снижении численности немногие оставшиеся животные, часто разбросанные поодиночке и не всегда сохранившиеся в лучших местах, усиливают кочевки и концентрируются в оптимальных станциях — станциях переживания.

Повреждение грызунами материалов и сооружений

Многообразное использование человеком окружающей среды при освоении новых территорий, строительство дорог и оросительных систем, различных хозяйственных объектов способствовало формированию такого аспекта вредной деятельности грызунов, как повреждение материалов, изделий и сооружений. На проявление вреда оказало влияние также использование в народном хозяйстве большого количества различных синтетических материалов.

Среди живых организмов, повреждающих материалы, грызуны занимают особое положение, так как повреждения, которые они причиняют, имеют непищевой характер и обусловлены проявлением свойственной им грызущей деятельности. Среди грызунов нет специализированных вредителей материалов. Практически все они потенциально опасны в этом отношении.

Влияние хозяйственной деятельности человека на расселение синантропных видов, заселение новых биотопов грызунами в связи с изменением условий существования, увеличение их «контактов» с человеком и его производственным окружением постоянно усиливаются. В частности, изменение условий существования приводит к тому, что местные виды грызунов заселяют сооружения человека, становясь условными или частичными синантропами. Например, в Якутии в населенных пунктах, где отсутствует домовая мышь, в роли синантропных грызунов выступают сибирская красная и узкочерепная полевки, а также полевка-экономка. Они заселяют жилые и надворные постройки, держатся в них круглый год, размножаясь и зимой. Серый хомячок на юге встречается в жилищах человека и хозяйственных постройках. В таких городах, как Ашхабад, Фрунзе, Ереван, он заселяет многоэтажные дома до самых чердаков, обитая совместно с домовою мышью, иногда превосходя ее по численности. Отмечено заселение жилых и хозяйственных построек другими видами: лесной и полевой мышами, обыкновенной и рыжей полевками, краснохвостой и гребенщиковой песчанками и др. Строительство каналов и развитие орошаемого земледелия способствует проникновению в засушливые районы влаголюбивых видов: обыкновенной и водяной полевок, полевой мыши, ондатры, серой крысы. В настоящее время происходит заметное увеличение ареала последней, чему способствуют также строительство животноводческих комплексов, перевалочных баз и т. п.

Добираясь до пищи, грызуны повреждают тару и упаковку, прогрызают отверстия в полу или стенах амбаров, складов, зернохранилищ, животноводческих построек. Кроме продуктов питания грызуны портят на складах ткани, меха, обувь, пластмассу, мебель и др. Отмечены повреждения крысами свинцовых водопроводных труб, изделий из алюминия. В жилых помещениях и других постройках грызуны используют для устройства гнезд бу-

магу, тряпки, пенопласт, изоляционные материалы, резину и т.п. Значительный ущерб наносят, повреждая кабели и провода, что приводит к авариям, нарушению связи, движению поездов, пожарам и человеческим жертвам. Д. Драммонд (1971) считает, что 20% пожаров в США вызвано замыканиями, происходящими из-за повреждения кабеля крысами. О причинах повреждения кабеля грызунами известно немного. Полагают, что их может привлекать разрытая при прокладке кабеля земля или необходимость стачивания резцов. Кроме того, грызуны могут повреждать кабель, когда он мешает их передвижению.

Помимо уничтожения они загрязняют экскрементами, мочой, шерстью сырье, материалы и изделия. Повреждение крысами строительных материалов, в частности панелей с металлическими (или иными) облицовками и утеплителем из пенополиуретанов, приводит к потере последними теплозащитных свойств. Крысы прогрызают в пенопласте ходы, объем которых составляет до 30—40% объема теплоизоляционного слоя.

Нередки повреждения, связанные с роющей деятельностью животных. Поселяясь по берегам каналов за облицовочными плитами, в плотинах и дамбах, грызуны роют норы в насыпях, часто прокладывая ходы ниже уровня воды. Это способствует усилению фильтрации и может вызвать разрушение насыпей, прорыв плотин и даже наводнения. Серьезный вред ирригационным сооружениям в Западной Европе причиняет ондатра. В нашей стране оросительным системам вредят также пластинчатозубая крыса и песчанки.

В некоторых случаях ущерб от повреждений может быть косвенным. Например, повреждения крысами герметичной пленочной упаковки на приборах, хранящихся на складе, приводит к порче последних. Нарушение упаковки пищевых продуктов, помимо их уничтожения, ведет к загрязнению и порче. Заселяя животноводческие помещения, крысы прогрызают множество отверстий в стенах и полу. Находящийся в этих помещениях скот ломает ноги, проваливаясь в дыры. Этот косвенный ущерб не всегда можно оценить только в рублях. Невосполнимость поврежденного придает особую остроту этой проблеме.

В естественных условиях повреждение материалов может быть вызвано различными причинами (схема 1).

Грызуны могут их повреждать, чтобы преодолеть препятствия на пути к пище, воде, убежищу или при рытье нор. Таковы повреждения тары, свинцовых водопроводных труб, плитусов в постройках, кабеля, проложенного под землей или в помещении. Способность использовать разнообразные материалы для устройства гнезд также может служить поводом для повреждения различных материалов. Грызуны обычно используют в качестве гнездового материала те, что имеются поблизости: бумагу, ткани, войлок, пленку и др.

В гнездах пасюков, населявших насыпи вдоль железнодорожного полотна, находили кроме растительного материала обрывки

Схема 1. Формы проявления грызущей деятельности



бумаги, папиросные и спичечные коробки, тряпки, которые зверьки извлекали из мусора. В экстремальных условиях пасюки могут использовать для устройства гнезд необычные материалы. Так, крысы, заселяющие холодильники, где хранились мясные туши, делали гнезда из сухожилий и мясных пленок. В эксперименте грызуны в качестве гнездового материала кроме бумаги и тканей использовали изоляцию проводов, резину, различные пенопласты, тонкую проволоку. При отсутствии или недостатке естественных материалов повреждения, связанные с гнездостроением, усиливаются, особенно в период размножения, так как у беременных самок наблюдается повышение грызущей активности.

Исследовательское поведение также может вызывать повреждения материалов. Известно, что появление новых объектов в клетках или местах концентрации грызунов в естественных биотопах вызывает усиление исследовательской деятельности и может провоцировать повреждения. Точно так же начало грызения какого-либо предмета одним зверьком может возбуждать грызущую активность других.

В период расселения у молодых зверьков, активно знакомящихся с окружающей средой, резко возрастает грызущая деятельность. То же происходит у всех грызунов в период запасаания корма, когда усиливается общая активность. В эти периоды возрастает и повреждение различных объектов.

Под воздействием внешних факторов также может происходить усиление грызущей активности. В этом случае возможны повреждения материалов и объектов как следствие смещенного поведения. Это можно наблюдать при возникновении стрессовых ситуаций, особенно в период резкого возрастания численности, когда нарушается структура популяций и усиливается конкурен-

ция за корм и убежища. Эксперименты показали, что всевозможные перемещения зверьков из одной клетки в другую, из просторной в более тесную, разобщение сложившихся пар и ссаживание незнакомых особей активизирует проявление исследовательского поведения и ведет к резкому возрастанию грызущей активности.

Еще одна из причин, вызывающая повреждение несъедобных предметов,— постоянная необходимость стачивания резцов. У серых крыс, по данным Г. Ветцеля (1927), недельный прирост верхних резцов составляет 2,4 мм, нижних — 3,45 мм. Такой интенсивный прирост вызывает у зверьков потребность в стачивании резцов.

В основе повреждения грызунами различных материалов и сооружений лежит совокупность всех перечисленных причин. Считать какую-либо из них основной затруднительно.

Испытание стойкости материалов к повреждению грызунами

Серьезные последствия от повреждения грызунами различных объектов и сооружений сделали необходимым проведение экспериментальных исследований по определению стойкости различных материалов к повреждению грызунами.

Наиболее достоверные результаты при определении стойкости материалов к воздействию челюстного аппарата грызунов можно получить при проведении испытания по методу «принуждения». Этот метод заключается в том, что пластина материала, который нужно испытать, используется как барьер, преграждающий грызунам доступ к корму. Клетка, в которой проводятся испытания, разделена на две равные части перегородкой, в нижней части которой имеется отверстие. В одну половину клетки помещают гнездо, поилку и сажают зверька, в другой находится корм. Пластиной исследуемого материала закрывают отверстие в перегородке, оставляя снизу щель высотой 15 мм для крыс, и 6—8 мм для мышей и полевок. Продолжительность опыта — 24 ч. Корм грызунам дают за 24 ч до начала опыта. Воду они получают без ограничения. Повторять опыт следует через 48 ч, так как если испытываемый материал оказывается стойким и грызуны голодают, то они теряют до 20% массы за сутки и при частом повторении опытов быстро погибают.

Для получения более точных результатов каждый материал следует испытывать трижды. Материалы, которые грызуны не повреждают, нельзя испытывать подряд, на одних и тех же зверьках, так как они их запоминают и после первого опыта больше не трогают. Твердые материалы на испытаниях следует обязательно чередовать с материалами, которые грызуны легко повреждают, иначе они перестанут грызть преграду, поскольку у них вырабатывается пассивно-оборонительная реакция.

Грызунов следует помещать в клетки за некоторое время до начала опыта (2—3 дня), чтобы они успели обжиться в клетке. Опытам должна предшествовать дрессировка, т. е. начинать сле-

дует с того, чтобы ставить преграду из легко прогрызаемых материалов: бумаги, картона, пенопласта и т. п.

Результаты опытов оценивают в баллах: 0 — материал не поврежден; 1 — незначительные царапины зубами на поверхности пластины, 2 — повреждена поверхность; 3 — значительные повреждения пластины, но она не прогрызена; 4 — пластина прогрызена.

Проведение испытаний по единой методике позволяет выявить материалы, не устойчивые к повреждению грызунами, определить степень их повреждения и получить сравнимые результаты как по отдельным материалам, так и по группам материалов.

Метод «принуждения» используют многие исследователи. Другие способы определения стойкости (свободная выкладка образцов материалов в клетки или вольеры, закапывание этих образцов в норы грызунов, выкладка образцов на поверхности около нор или на тропинках) для получения результатов требуют длительной экспозиции и не всегда дают результаты, однозначные результатам, полученным при проведении испытаний по методу «принуждения». Часть материалов животные вообще не трогают либо закапывают их при рытье новых ходов и т. д. При проведении таких испытаний можно получить данные об условиях, способствующих повреждениям материалов грызунами. Истинную стойкость материалов таким образом определить затруднительно. В табл. 11 приведены данные о стойкости материалов.

Испытания показали, что грызуны повреждают многие материалы: древесину, бумагу и картон; нетканые материалы, ткани из натуральных, искусственных и синтетических волокон. Наличие на тканях пропитки или покрытий не препятствовало повреждению. Легко повреждаются нитки, веревки, канаты, изготовленные на основе различных волокон. Кожи натуральная и искусственная, синтетические пленки и трубки, асбестовые материалы, резины и газонаполненные пластмассы также оказались неустойчивыми. В группе однородных литых и прессовочных материалов нестойкими оказались все испытанные материалы, за исключением оргстекла оранжевого, которое мелкие грызуны повреждали слабо. Из семи испытанных компаундов два (ЭД-5 и заливочный компаунд на основе смолы ЭД-20) оказались стойкими. Компаунд ЭЗК-6 не повреждали мыши, остальные грызуны повреждали.

Многие материалы, включенные в группу «Пластмассы наполненные», имеют высокую твердость и грызуны их не повреждали. Часть материалов была повреждена в опытах с крысами, результаты оценивались от 2 до 4 баллов. Особенно интенсивно повреждали они фенопласт ФК-36-65, ФКПМ-15, АГ-4С.

Из текстолитов наиболее стойкими оказались стеклотекстолиты на основе эпоксидных смол, обладающие высокой твердостью. Остальные материалы этой группы повреждались в разной степени.

Резины грызуны повреждали независимо от химического состава. Толщина образцов, плотность и другие физико-механиче-

Т а б л и ц а 11. Стойкость материалов к повреждению грызунами
(по данным лабораторных испытаний)

Материал	Количество материалов			Степень поврежде- ния грызунами, баллы	
	испытан- ных	поврежденных грызунами		круп- ными	мелки- ми
		круп- ными	мелки- ми		
Древесина натуральная,	8	8	8	3—4	3—4
клеевая, прессованная					
Бумага, картон	8	8	8	4	4
Материалы нетканые:					
вата х/б, войлок, стек-	8	8	8	4 ¹	4 ²
ловата, стеклохолст					
Пряжа, нитки, веревки,	20	20	20	4 ¹	4 ²
канаты х/б, льняные, шелко-					
вые, синтетические, стеклян-					
ные					
Ткани: х/б, льняные, шел-	53	53	53	4 ¹	4 ²
ковые, шерстяные, синтети-					
ческие, стеклянные (нату-					
ральные, с покрытием или					
пропиткой)					
Ленты и ремни текстиль-	5	5	5	4	4
ные х/б					
Кожа натуральная	4	4	4	4	4
Кожа искусственная на	14	14	14	4	4
основе х/б или синтетиче-					
ских тканей					
Пленки и трубки синтети-	24	24	24	4	4
ческие					
Асбестовые материалы	6	6	6	4 ¹	4 ²
Материалы однородные	39				
литые, прессованные,					
в том числе:					
полиэтилены высокого и	32	32		3—4	2—4
низкого давления, поли-					
пропилены, поливинил-					
хлориды, фторопласты,					
полиакрилаты и др.					
смолы и компаунды	7	5	3	2—3	1—2
эпоксидные					
Газонаполненные пласт-	42	42	42	4	3—4
массы					
Резины: мягкая литая, по-	59	59	59	4	3—4
ристая, губчатая					
жесткая	1	1	1	4	
Герметики (пастообраз-	8	8	8	4	4
ные резины)					
Пластики бумажнослои-	4	4	4	3—4	3
стые					
Изделия резиновые техни-	4	4	4	4	4
ческие					
Пластмассы наполненные	41	17	9	2—4	
Текстолиты:	47				
на основе х/б и синте-	9	9	7	2—4	1—3
тических тканей					

Материал	Количество материалов			Степень поврежде- ния грызунами, баллы	
	испытан- ных	поврежденных грызунами		круп- ными	мелки- ми
		круп- ными	мелки- ми		
стеклотекстолиты	38	8	2	2—3	1—2
Лакокрасочные покры- тия на:	62				
деревянной подложке	3	3	3	4	3—4
стальных пластинах	14	6	4	3—4	1—2
сплавах алюминия	24	11	9	2—4	1—4
стеклоткани	6	6	6	4	4
пенопласте	6	6	6	4	4
пластмассе	4	2	1	2—3	2
текстолитах	5	3	1	2—3	1

4¹ — грызуны использовали материалы для устройства гнезд.

ские характеристики на интенсивность повреждения заметно не влияли. Газонаполненные пластмассы животные также повреждают независимо от химического состава. Некоторое влияние на интенсивность повреждения оказало наличие микроструктур (фенольных и стеклянных) в синтактовых пенах СПМ и ЭДС-5. Эти материалы крысы повреждали слабее, а мелкие грызуны — незначительно (1 балл). В то же время среди пенопластов оказались материалы, привлекающие для грызения. Это пенополиуретаны (жесткие и некоторые эластичные), пенополистирол ПСБ, пенофенопласт ФРП-1 и др. В опытах зверьки сгрызали до 40—50% от исходной массы пластин, часто обгрызали пластины со всех сторон или разгрызали на мелкие кусочки, которые затащивали в гнезда. Для пенопластов была показана зависимость интенсивности повреждения от «кажущейся» плотности материала: чем меньше плотность, тем больше потеря массы. Более четко эта зависимость прослеживается для мелких грызунов (рис. 48).

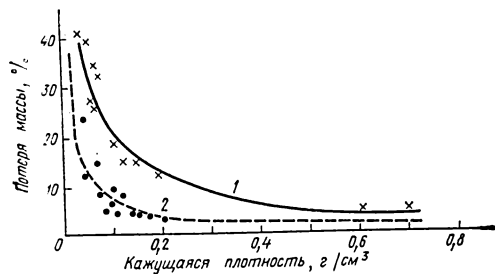


Рис. 48. Зависимость интенсивности повреждения пенопластов грызунами (1 — крысами, 2 — мышами и полевками) от их кажущейся плотности (по И. А. Емельянов, 1978)

Лабораторные испытания кабеля и проводов показали, что их стойкость зависит от материала наружной оболочки, диаметра, наличия брони, а также определяется видом грызунов, наносящих повреждения. Броня из стальных или медных лент защищает кабели от повреждения. Оплетку из стальной проволоки (типа ПСО) мелкие грызуны не

повреждают, крысы повреждали ее на кабелях небольшого диаметра. Кабели и провода в пластмассовой и резиновой оболочках или с волокнистой изоляцией грызуны повреждали. Большое значение для стойкости кабеля имеет его диаметр. Крысы перегрызли кабель диаметром до 17 мм. Значительные повреждения были отмечены на кабеле диаметром 24—29 мм. Были отмечены также серьезные повреждения кабеля КШВГ-6 (резиновая оболочка) диаметром 60 мм. Мелкие грызуны перегрызли провода и кабели диаметром до 6 мм и сильно повреждали материалы диаметром до 15 мм, прогрызая оболочки, изоляцию, обнажая жилы. Кабели диаметром свыше 15 мм повреждали значительно слабее, а диаметром более 20 мм практически не повреждали.

Испытания лакокрасочных покрытий показали, что их стойкость определяется двумя факторами: стойкостью подложки и адгезией самого покрытия к окрашиваемой поверхности. Нестойкую подложку (пенопласт, древесину и т. п.) грызуны повреждают с покрытием. При плохой адгезии они повреждают лакокрасочное покрытие, обнажая при этом подложку.

Возможность повреждения материалов грызунами зависит от характера их поверхности (гладкая или шероховатая), твердости и структуры (плотная, пористая, вязкая и т. п.). Грызуны легко повреждали пенопласты, когда пластинкой полностью закрывали окно в перегородке, разделяющей кормовое и гнездовое отделения клетки, поскольку пористая поверхность при грызении дает упор для резцов. Тот же пенопласт, окрашенный эпоксидной шпатлевкой, грызуны не могли прогрызть — резцы скользили по гладкой поверхности (рис. 49). Пластика была повреждена лишь после того, как в ней были сделаны отверстия диаметром 5 мм. Х. Хук и Я. Ла Брейн (1959) отмечали то же самое при испытании пленки из поливинилхлорида: крысы не могли ее повредить до тех пор, пока исследователи не сделали в пленке от-

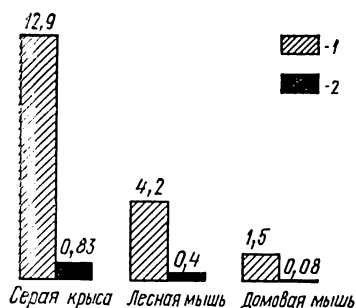


Рис. 49. Повреждение грызунами пенопласта ФК-40 (потеря массы в % за 24 ч опыта, по И. А. Емельяновой, 1978):

1 — без покрытия, 2 — с эпоксидным покрытием

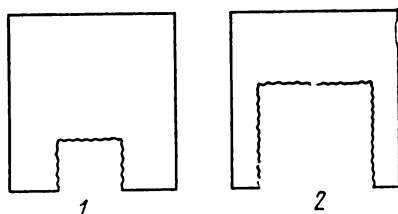


Рис. 50. Интенсивность повреждения пенопласта ППУ-3Н пластинчатозубой (2) и серой крысами (1) за 24 ч опыта

верстие диаметром 2 мм. Наличие швов, выступов, отверстий также способствует нанесению повреждений. В. Нейгауз (1957) показал, что крысы не повреждали соединительные муфты из пластмассы до тех пор, пока им не стал доступен край.

Из физико-механических свойств на стойкость материалов влияет их твердость. Г. Лавуайе и Дж. Глен (1976), исследуя возможность повреждения крысами трех упаковочных материалов (винила, ацетата и поликарбоната), показали, что размеры повреждений коррелировали с твердостью. У наиболее твердого материала (поликарбоната) были отмечены наименьшие повреждения.

Характер и размер повреждений в значительной степени зависят от вида грызунов, наносящих эти повреждения. Поскольку твердость эмали резцов примерно одинакова у всех грызунов, это означает, что вероятность повреждений и их величина, при прочих равных условиях, зависят от размера грызунов и, соответственно, усилия, которое может развивать их челюстной аппарат, т. е. виды, имеющие большие размеры, повреждают большее число материалов и повреждения эти более значительны. Грызуны более мелкого размера: мыши, полевки, мелкие виды песчанок — повреждают те же материалы менее интенсивно. Не меньшее значение имеет также и биология грызунов. Интенсивность грызущей деятельности у разных видов связана с их образом жизни, характером питания и другими факторами (рис. 50). В наибольшей степени она выражена у видов, питающихся семенами в твердой оболочке или твердыми частями растений либо роющих сложные норы.

Контроль численности грызунов и защита материалов от повреждения грызунами

Методы непосредственной защиты материалов от повреждений пока еще не разработаны в достаточной степени, так как повреждающая деятельность грызунов разнообразна. Существующие же способы борьбы направлены на общее снижение их численности и уменьшение масштабов вреда, что тем самым уменьшает возможность повреждения материалов и сооружений. В данном разделе приводятся сведения о системе и методах борьбы, которые приняты в современной дератизации.

Основная задача борьбы с грызунами — снижение численности или полное истребление вредителей на определенных объектах, в сооружениях, населенных пунктах и т. п. Мероприятия осуществляют в двух направлениях: проведением общих профилактических мер, обеспечивающих грызунонепроницаемость, и истребительных работ — путем использования химических, механических и биологических способов борьбы. Для достижения наилучшего эффекта все мероприятия должны проводиться систематически. Успех борьбы зависит от выбора наиболее пригодных в данных условиях средств борьбы и правильного определения

мест обработки. Работу необходимо начинать с проведения профилактических мероприятий, основная цель которых — лишить грызунов убежищ, корма, затруднить доступ на объекты или в помещения извне. В городах и других населенных пунктах этому способствует проведение санитарно-профилактических мероприятий, направленных на создание грызунонепроницаемости зданий (особенно складов), улучшение санитарного состояния населенных пунктов и пр. Эти изменения среды обитания затрудняют заселение грызунами объектов и постоянное пребывание в них.

Для уменьшения вредоносности грызунов в сельском хозяйстве большое значение имеют соблюдение правил агротехники, своевременная уборка урожая, хорошее состояние зернохранилищ и овощехранилищ, т. е. все, что вызывает резкое ухудшение условий обитания и кормности угодий для грызунов. Ухудшение условий существования может вызвать спад интенсивности размножения и снижение численности. Для своевременной организации борьбы с вредными грызунами разработаны методы учета и составления прогноза их численности, которые позволяют определить предполагаемую численность и возможный вред сельскохозяйственным культурам в течение ближайшего сезона или года.

Чтобы правильно организовать борьбу, важно знать закономерности стаиального распределения и динамики численности видов-вредителей для проведения мероприятий в нужных местах и в выгодное время. Таковыми являются станции переживания — участки ландшафта, где имеются оптимальные для данного вида условия существования. Только в станциях переживания в годы депрессии сохраняется численность грызунов и отсюда идет расселение их в прилегающие угодья. При этом истребление целесообразно проводить при низком уровне численности зверьков, сосредоточивая его прежде всего в станциях переживания и особенно в ранне-весеннее время, когда число особей-производителей наименьшее. Такую работу нужно проводить систематически, постоянно контролируя численность вредителей. Важным условием при этом становится картографирование «поселений» грызунов и выделение «станций переживания». На этой основе возможна профилактическая борьба с вредителями, которая позволит поддерживать их численность на минимальном уровне (схема 2).

В городах и населенных пунктах мероприятия по борьбе с синантропными грызунами должны быть построены на том же принципе. После сплошных обработок, давших резкое снижение численности, необходимо систематически вести борьбу, выявляя места, где сохранились грызуны, иначе освобожденные от грызунов объекты будут снова ими заселены.

Химический метод борьбы с грызунами в настоящее время является ведущим и наиболее эффективным. Яды, применяющиеся для борьбы с грызунами, по характеру своего действия делятся на препараты острого и кумулятивного действия. Из ядов острого

Схема 2. Система мероприятий по защите объектов от грызунов



действия наиболее широко используют фторсодержащие соединения (фторацетат натрия, фторацетамид, монофторин и др.) и фосфорорганические соединения (фосфид цинка, глифтор). Яды кумулятивного действия — антикоагулянты — созданы на основе кумарина (варфарин, зоокумарин) и индадиона (ратиндан, фентолацин и др.). Появление антикоагулянтов повысило эффективность истребительных работ и, по мнению специалистов, позволяет ставить вопрос о практически полном освобождении от грызунов (в частности, от крыс) отдельных городов и даже областей. Грызуны не различают эти яды в приманке и охотно ее поедают. Вместе с тем теперь стало известно, что в разных странах существуют популяции грызунов, стойкие к антикоагулянтам. Резистентность к варфарину отмечена у серых и черных крыс, домовых мышей и других видов. Это явление обусловлено генетическими факторами.

При использовании приманок с ядами острого действия у грызунов появляются настороженность и отказ от повторного поедания приманки с ядом (любым). Это происходит в том случае, если поедают приманку с сублетальной дозой яда. Отмечено также, что к некоторым ядам (крысид, фторацетамид) вырабатывается привыкание и организм грызунов становится маловосприимчивым к этим препаратам.

Хорошо защищает освобожденные от грызунов объекты применение долговременных точек отравления — ящиков с сухой пищевой приманкой, содержащей антикоагулянт фторацетат натрия или фосфид цинка. Так, благодаря сочетанию истребительных работ с последующим применением точек долговременного отравления, серые крысы были практически ликвидированы в 450 населенных пунктах ФРГ. Значительные успехи в борьбе с крысами были достигнуты также в Риге, Саратове, Туле и других горо-

дах. Хорошие результаты дает применение долговременных точек отравления на складах различного назначения, овоще- и зернохранилищах, животноводческих комплексах.

Для истребления грызунов в изолированных складских помещениях, на морских и речных судах, в железнодорожных вагонах и, в отдельных случаях, в самолетах используют газообразные вещества: диоксид серы, оксид и диоксид углерода, хлорпикрин, препараты синильной кислоты, бромистый метил. Для борьбы с сусликами и песчанками проводят газацию нор хлорпикрином, бромистым метилом, цианплавом, выхлопными газами. Перспективно использование хемотростерилиантов — веществ, действующих на генеративную систему грызунов и снижающих темпы размножения в популяциях.

Во многих странах серьезное внимание уделяют поискам репеллентов — веществ, которые могли бы отпугивать грызунов от защищаемого предмета. Исследователями предложено для этой цели большое количество соединений, относящихся к разным классам: циклогексамид, хлордан, диэлдрин, алдрин, соли диметилдитиокарбаминовой кислоты, олово- и свинецорганические соединения и др. Однако многие из них на практике оказываются непригодными к применению либо вследствие того, что не проявляют репеллентных свойств, либо в результате токсичности. Наиболее перспективные, по-видимому, оловоорганические соединения предложены в США для введения в краски, бумажную массу, идущую на изготовление тарного картона, в обмазки для защиты растительности (плодовых деревьев).

Поиск репеллентов — задача сложная. Вещества, предлагаемые в качестве репеллентов, должны отвечать следующим требованиям: не быть токсичными, при введении в материалы не терять своих отпугивающих свойств, не изменять свойств самого материала и не изменяться под действием факторов внешней среды. Механизм действия репеллентов изучен еще недостаточно. Это затрудняет поиск новых веществ и требует комплексного подхода и совместной работы химиков, технологов и биологов.

В последнее время широко рекламируют во многих зарубежных странах способы защиты сооружений физическими методами с помощью звуков ВЧ и ультразвука. Однако исследования показали, что после непродолжительного положительного эффекта у грызунов наступает привыкание и отпугивающее действие пропадает.

Ввиду важности проблемы несколько слов следует сказать относительно защиты кабеля. Во всех странах максимум внимания уделяют этой проблеме. Химический способ защиты кабеля заключается во введении или покрытии оболочки (пластмассовой или резиновой) веществами, обладающими отпугивающим действием. Положительные результаты в этом отношении достигнуты при применении оловоорганического соединения BioMeT₁₂ и R-55 (третбутилсульфенилдиметилдитиокарбамат). Введение этих репеллентов в оболочку кабеля, а также обработка почвы

водоэмульсионным раствором репеллента R-55 предотвращали повреждение кабеля гоферами в течение длительного срока (2,5 года в опыте).

Механические способы защиты предусматривают применение бронирования кабеля стальными или медными лентами и применение оплетки из стальной оцинкованной проволоки. Для предотвращения доступа грызунов в щель, образованную кабелеукладчиком, применяют устройство, уплотняющее слой земли над кабелем.

При прокладке трассы важно учитывать распределение грызунов на территории, их численность, видовой состав и др. На территории нашей страны были выделены зоны потенциальной опасности для кабелей, прокладываемых на глубине 0,7—1,2 м (И. С. Туров, С. А. Шилова, 1973): лесостепь, степь, полупустыни и пустыни, где обитают многие виды грызунов, прокладывающих ходы и роющих норы на этой глубине.

Решение вопросов, связанных с защитой материалов от повреждения грызунами, требует проведения комплексных исследований для разработки систем защиты различных объектов и сооружений от вредного воздействия грызунов.

5

ПОВРЕЖДАЮЩИЕ БИОЦЕНОЗЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

ОБРАСТАНИЕ

Обрастание — это сообщество животных и растений, обитающих на твердом субстрате. Обычно в нем преобладают прикрепленные организмы, а подвижные обитают среди них, используя их в качестве пищи и убежища. Обрастание антропогенных субстратов практически не отличается от обрастания природных. Правда, на днищах судов было найдено несколько новых видов усоногих раков. Но это связано с плохой изученностью этой группы в тропических районах. Скорее всего эти виды, как и все другие, имеют корни среди обрастателей природных субстратов. Человек сравнительно недавно стал завоевывать водную стихию, и новые виды на антропогенных субстратах за 1—2 века просто не могли образоваться.

Обрастание встречается во всех водах, как морских, так и пресноводных, и на любых глубинах, где есть твердый субстрат. Однако состав воды, скорость ее движения, освещенность, загрязнение и другие факторы влияют на видовой состав обрастания. Организмы-обрастатели морей, солоноватых и пресных вод в большинстве случаев различные. Количество пищи оказывает влияние в первую очередь на обилие обрастания и меньшее на его состав.

Обрастание приносит большой вред человеку тем, что оно может значительно (до 50%) снижать скорость хода судов, усиливает коррозию металла и бетона в воде, уменьшает просвет водоводов, подающих воду на предприятия. Обрастание свай причалов и эстакад может на 10—20 см увеличивать диаметр их, что вызывает необходимость расширять их объем и тратить огромное количество лишнего металла и бетона. Поселясь на минах, буях и других плавучих объектах, обрастатели могут увеличивать их массу до такой степени, что они опускаются на глубину и их действие прекращается. Точные приборы, помещаемые в воду на длительное

время, также обрастают, что влияет на работу. Обрастание неводов и сетей, стоящих в воде недели или даже дни, утяжеляет их и может притопить; к тому же рыбаки, вытаскивая сети, обросшие балластами, ранят себе руки.

Морское обрастание делится на прибрежное, глубоководное и океаническое. Прибрежное состоит из большого количества видов и имеет, как правило, большую биомассу, исчисляемую, в среднем, килограммами на 1 м^2 , а иногда десятками, до $100\text{--}150 \text{ кг/м}^2$. В нем преобладают двустворчатые моллюски (митилиды, устрицы и др.), из усоногих раков *Balanomorpha*, мшанки, полихеты, гидроида и др.

Глубоководное обрастание отличается от первого небольшим числом видов и малой биомассой, порядка десятков и сотен г/м^2 . Однако это на порядок и более выше, чем встречается на мягких субстратах. Здесь из усоногих раков преобладают Scalpellidae.

Океаническое обрастание встречается во всех океанах, кроме районов, покрытых льдом, и большинства внутренних морей. Состав обрастателей ограничен. Здесь преобладают усоногие раки из *Lepadomorpha* (*Lepas*, *Conchoderma*), которые составляют более 90% всего океанического обрастания; несколько видов мшанок, водорослей, крабов и полихет. Биомасса невелика, около $100\text{--}200 \text{ г/м}^2$, но возникает это обрастание чрезвычайно быстро.

На границе соленой и пресной вод существует солоновато-водное обрастание. Оно имеет большое значение в обрастании судов. В солоноватых водах число видов обрастателей невелико. Это представители двустворчатых моллюсков — Dreisseniidae, гидроида Cordylophora, усоногие раки *Balanus improvisus* и *B. eburneus*, мшанки *Conopeum* и *Membranipora* и др. Биомасса может быть очень велика, так как реки несут много пищи для этих фильтраторов. Эти обрастатели на судах переносятся в другие водоемы и являются в настоящее время самыми широко распространенными видами.

Пресноводное обрастание обычно меньше морского и по числу видов, и по биомассе, но в некоторых случаях, когда оно представлено, например, дрейссенами, может оказывать значительное воздействие. Кроме дрейссен в пресноводном обрастании встречаются мшанки, простейшие, губки, водоросли, грибы и подвижные формы — олигохеты, личинки хирономид и ручейников, из Kamptozoa — *Urnatella gracilis*. Биомасса обрастания, состоящего из дрейссен, может достигать нескольких кг/м^2 , в остальных случаях порядка десятков — сотен г/м^2 .

Основные обрастатели — сидячие организмы, второстепенные — подвижные. В разных условиях преобладают различные виды и группы их. Обрастатели встречаются практически во всех типах животных и ряде типов водорослей. Число видов макрообрастателей, обнаруженных на антропогенном субстрате, в настоящее время составляет более 3000, а на природном — более 20 000, хотя, как уже говорилось выше, потенциально все вторые могут оказаться в

числе первых. Особенно опасны обрастатели эврибионты, которые распространены очень широко, дают большую биомассу и, как правило, стойки к защите от обрастания.

Основные обрастатели

Наиболее часто в обрастании встречаются следующие группы организмов.

Бактерии встречаются всюду в обрастании. Они первыми появляются на чистой поверхности, помещенной в воду. Особенно большую роль играет бактериальная пленка вместе с низшими водорослями в начале развития обрастания. Для оседания личинок некоторых макрообрастателей необходимо присутствие первичной пленки, для других это безразлично. Слизистая первичная пленка, состоящая из бактерий и водорослей, может накапливать яды, иногда она содержит яда в 10^3 больше, чем морская вода. Микроорганизмы могут использовать в пищу масляную основу лакокрасочных покрытий, разрушать покрытия своими метаболитами, способствовать выделению токсинов из основы благодаря изменению активности воды пристеночного слоя, экранировать токсины покрытий от макрообрастателей.

Грибы (*Mycota*) обитают не только в наземной, но и водной среде, как в пресных водах, так и в морях и океанах. Среди них имеются виды, участвующие в обрастании, а есть виды и группы видов, препятствующие развитию обрастания,— комменсалы и паразиты таких обрастателей, как усоногие раки, устрицы, мидии, губки и другие организмы. Среди них встречаются паразиты водорослей и водных растений (зостера). Некоторые виды грибов разрушают дерево сами, а кроме того, служат пищей некоторым древооточам (лимнории).

В опытах Н. Я. Артемчук (1981) на Черном море грибы обрастали металлические конструкции и способствовали коррозии металла. На металле было выделено много видов, относящихся к классам *Denteromycetes*, *Ascomycetes* и низшим грибам *Zygomycetes*. Известны случаи, когда грибы портили лакокрасочные покрытия и смазочные масла. Они также способны расщеплять нефть и нефтепродукты, делая их доступными для бактерий. Тем самым они уменьшают загрязнение воды как в пресных водах, так и в морях и океанах.

Таким образом, хотя грибы никогда не являются руководящими формами в обрастании, они играют определенную, довольно многообразную роль в нем, как и в других пресноводных и морских биоценозах.

Водоросли — всегда встречаются в обрастаниях как морских, так и пресноводных, если имеется достаточная степень освещенности. От количества света зависит присутствие и обилие разных групп водорослей. Так, диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли преобладают на небольшой глубине, а красные и, особенно, бурые встречаются глубже, доходя до глубины десятков метров.

Глубина погружения их зависит от возможности проникновения солнечных лучей, на что косвенным образом влияет загрязнение воды. Обычно водоросли распределяются довольно четко очерченными поясами на любых твердых предметах. Обилие их негативно сказывается на обрастании животными, которые в тех же районах и на той же глубине преобладают в затененных местах.

Губки (Spongia) редко играют руководящую роль в обрастании антропогенных субстратов в морях и океанах, за исключением некоторых старых причалов и молов. В пресных же водах они являются одними из основных обростателей, часто встречающихся на сваях, буях, в водоводах.

Кишечнополостные (Hydroidea) очень часто встречаются в обрастании, но биомасса их редко бывает велика и поэтому к руководящим эта группа относится редко, если исключить обрастание рифообразующими кораллами. Гидроиды растут быстро и могут появляться через несколько дней или недель после начала заселения субстрата. В это время биомасса гидроидов может превышать биомассу других организмов. Они преобладают в морском обрастании в холодных и умеренных водах, часто встречаются на днищах судов и в водоводах. В тропиках гидроиды реже участвуют в обрастании, но в районах олиготрофных могут встречаться обрастания, состоящие из герматинных кораллов, растущих достаточно быстро и благодаря мощному известковому скелету дающему большую биомассу. Однако кораллы очень чувствительны к загрязнению и в гаванях и на судах они практически не встречаются. Поэтому их нельзя отнести к обрастанию, приносящему вред человеку. Скорее наоборот, поселения человека и возникающая вокруг этих поселений эвтрофикация губят кораллы, но положительно сказываются на многих других обростателях.

Полихеты (Polychaeta) играют значительную роль в морском обрастании, особенно сидячие (Sedentaria). Бродячие полихеты (Errantia) так же, как и другие подвижные черви-олигохеты, турбеллярии, нематоды, встречаются среди прикрепленных обростателей, но играют небольшую роль по сравнению с ними.

Известковые домики сидячих полихет плотно прирастают к субстрату, иногда друг к другу и они могут удерживаться даже при быстром токе воды. Например, такие полихеты, как *Spirorbis borealis*, *Mercierella enigmatica*, могут обрастать не только днища судов, но встречаются и на винтах, где скорость может быть настолько высокой, что другие организмы селиться там не могут. Часто обитают они и в морских водоводах, на сваях, буях и других гидротехнических сооружениях. Однако полихеты редко являются руководящими формами. Правда, такое наблюдалось в Красноводском заливе вскоре после вселения туда *Mercierella*, но через несколько лет этот вид стал там малочисленным, а в холодные годы исчезает почти полностью.

Мшанки (Bryozoa) часто встречаются в обрастании как в пресных, так и в морских водах (рис. 51). В пресных водах это представители немногих родов (*Plumatella*, *Fridecellaria*, *Victorella*

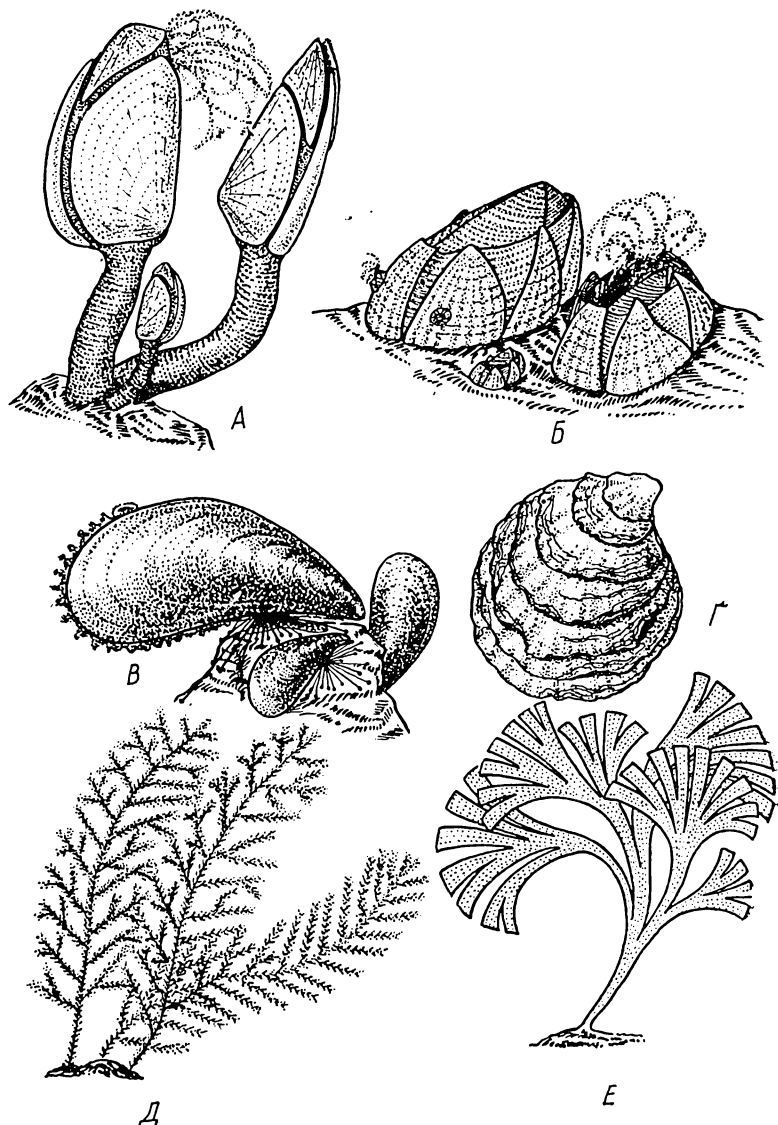


Рис. 51. Представители морского обрастания:

А — усоногие раки рода лепас; Б — усоногие раки бальянуса; В — мидия;
Г — устрица; Д — гидроиды; Е — мшанка

и др.), образующие мягкие подушечки или кустики. В морях это в основном известковые мшанки (*Membraniporidae* и др.), инкрустирующие тонкой известковой коркой или веточками чистые поверхности и нарастая на других обрастателях. Мшанки редко дают большую биомассу, но среди морского обрастания это одни из наиболее часто встречающихся групп. Число видов, известных сейчас

из антропогенного обрастания, более 300, в действительности же их значительно больше. Мшанки часто встречаются как на судах, так и внутри водоводов. Быстрый ток воды, как и для многих других обрастателей, благоприятен для них. Важно также, что колониальность этих животных, так же как и гидроидов, благоприятна для поселения на твердом субстрате, так как из одной личинки может возникнуть большое сообщество, занимающее значительную площадь и дающее огромное количество половых продуктов. Это помогает мшанкам заселять плавник, нефтяные комочки, отдельные суда, ходящие в открытом океане, на которых они встречаются чаще, чем другие организмы.

Моллюски (Mollusca) почти всегда встречаются как в морском, так и в пресноводном обрастании, но это прежде всего двустворчатые моллюски (Bivalvia). Другие группы, например брюхоногие моллюски (Gastropoda), панцирные (Loricata) и др., также иногда обитают среди обрастателей, но никогда не являются в нем руководящими формами. Из двустворчатых моллюсков обрастателями являются далеко не все, а только те, которые могут плотно прикрепляться к субстрату биссусом, такие, например, как мидии (Mylidae), или прирастать к нему, как устрицы (Ostrea).

Обрастание двустворчатыми моллюсками развивается позже развития быстрорастущих обрастателей (водорослей, гидроидов, мшанок, усоногих раков). Обычно только в многолетнем обрастании преобладают эти организмы. Но тогда образуется мощное обрастание толщиной до 10 см и даже больше, которое может давать биомассу нередко до 100 кг/м².

Моллюски, прикрепляющиеся биссусом, не выдерживают очень сильного тока воды и обитают в основном в кормовой части судов. Прирастающие моллюски (некоторые устрицы) предпочитают места с быстрым током воды в природе и могут обитать и в носовой части корпуса. Но, как правило, устрицы сильнее, чем мидии, чувствительны к загрязнению и поэтому реже встречаются в обрастании судов.

Двустворчатые морские моллюски и некоторые пресноводные (например, *Dreissena*) в развитии проходят стадию свободноплавающей личинки (велигер). Личинка некоторое время плавает в воде, а затем прикрепляется, чаще к шероховатой поверхности. Рост двустворчатых моллюсков довольно медленный, поэтому они, как правило, преобладают в заключительной стадии развития обрастания. Стратегия этих организмов заключается в том, что при прохождении через мантийную полость и даже через кишечник личинок этого вида (например, мидии) они не только остаются живыми, но и сохраняют способность к оседанию, тогда как личинки большинства других организмов погибают. Таким образом возникают однородные поселения двустворчатых моллюсков.

В морях СССР из двустворчатых моллюсков особенно большое значение имеют *Mytilus edulis* (северные и дальневосточные моря), *M. galloprovincialis*, *Mytilaster lineatus* и *Ostrea edulis* (южные моря). Митилиды и устрицы в обрастаниях могут давать биомассу

свыше 100 кг/м². Но развиваются они медленно и поэтому играют руководящую роль только в многолетнем обрастании. На днищах судов они встречаются чаще в районах кормы и почти никогда не бывают в носовой части судна. Зато в морских водоводах, на сваях причалов, буях двустворчатые моллюски могут образовать «шубу» толщиной в десятки сантиметров и вытеснить почти всех других обрастателей.

Ракообразные (Crustacea) почти всегда встречаются в морском обрастании. Но если подвижные раки (Amphipoda, Decapoda, Ostacoda, Isopoda и др.) и попадают в нем, то, как правило, в небольшом количестве. Исключением является корофииды, которые в некоторых условиях, например на быстром течении и при обилии детрита, могут играть и руководящую роль. Одной из основных групп в обрастании являются усоногие раки (Cirripedia). Они появляются в обрастании через одну-две недели и уступают, но не всегда, первенствующее положение моллюскам обычно не раньше чем через 1—2 года. Хотя в некоторых тропических морях смена баланусов моллюсками может происходить значительно быстрее. Особенно большое значение усоногие раки имеют в обрастании судов, так как не смываются током воды, и те виды, которые встречаются в обрастаниях, как правило, эврибионты. Они длительное время переносят загрязнение, опреснение и другие неблагоприятные факторы. Некоторые виды (*Balanus amphitrite*, *B. improvisus*) первыми садятся на поверхности, защищенные ядовитыми покрытиями.

Из усоногих раков в наших морях особенно важное значение имеют *Balanus improvisus*, *B. eburneus*, *B. balanus*, *B. crenatus*, *Semibalanus cariosus*, *S. balanoides*, *Lepas anatifera*, *L. beringiana*.

Все усоногие раки имеют несколько стадий свободноплавающих личинок — науплиусов и одну ползающую личинку — циприса.

Насекомые (Insecta) встречаются в обрастании только в пресных водах и в очень ограниченном количестве в солоноватых. Это личинки хирономид, эфемерид, симилид и ручейников. Количество экземпляров этих насекомых может быть велико, но основу обрастания чаще всего составляют водоросли, хотя на затопленных деревьях с корой отношение биомассы хирономид к общей биомассе эпифуаны может достигать до 99%.

Иглокожие (Echinodermata) встречаются только в морях и океанах на стационарных установках в густом обрастании. В основном это морские звезды (Asteroidea), редко представители других классов этого типа. Иглокожие регулируют численность основных обрастателей и в этом качестве даже могут быть полезны. Так, морские звезды выедают двустворчатых моллюсков, морские ежи — водоросли.

Оболочники (Tunicata) часто встречаются в полносоленых водах в обрастании стационарных объектов, реже в обрастании судов в морях и океанах. Одиночные асцидии играют небольшую роль в обрастании, но колонияльные нередко (например, *Botrillus*) могут покрывать значительные площади на судах, буях, сваях и различных подводных сооружениях.

Отношения организмов внутри сообществ. Механизм обрастания

Несмотря на то что состав обрастания варьирует в зависимости от условий среды, развитие его подчиняется определенным законам. Вначале всегда образуется первичная пленка, состоящая из бактерий и низших водорослей.

Развитие первичной пленки происходит в 2 этапа; сначала поселяются бактерии при малом количестве диатомовых водорослей, затем формируется пленка из диатомовых водорослей. Количество бактерий зависит, по данным Ю. А. Горбенко (1977), от количества живых и мертвых диатомовых планктона, продуктами разложения и метаболитами которых они питаются, а также от величины растворенного органического вещества (РОВ) окружающей воды.

Опыты показали, что большинство обрастателей (балайнусы, спирорбисы и др.) предпочитают оседать на поверхность, покрытую пленкой. Лишь некоторые организмы (*Bugula*, *Lepralia*, *Bowerbankia*, *Electra*) чаще оседают на поверхность без пленки. В некоторых случаях органическая пленка неодинаково влияла на оседание на стекле и пластике. Что касается защиты пленкой обрастания от ядов, то оказалось, что тонкая слизистая пленка накапливает яд и препятствует поселению макрообрастателей, тогда как толстая пленка мешает проникновению ядов и уменьшает их противообрастающее действие.

Отношения организмов внутри сообществ обрастания чрезвычайно сложные. Даже в олигомиксном сообществе в Азовском море между 6 видами обрастателей было установлено около 40 топических и трофических связей. В Черном море для балайнусов были выявлены прямые зависимости от мидий, мшанок, полидоры, гетеротрофных бактерий перифитона, мертвых диатомовых и РН взвеси, растворенного органического вещества, трансформированного перифитоном, карбонатов в перифитоне, живых диатомовых в планктоне, аллохтонных углеводов, HCO_3 и CO_2 и обратные зависимости от гетеротрофных бактерий и карбонатов взвеси. Для гидроидов — прямые зависимости от мертвых диатомовых планктона и рН воды, карбонатов на взвеси O_2 , температуры и CO_2 воды и обратные зависимости от растворенного органического вещества и CO_2 воды (Ю. А. Горбенко и др., 1977).

Неоднократно отмечалось как облегчение оседания последующих обрастателей первыми, так и подавление первых последними. Например, гидроид *Tubularia crocea* облегчает оседание *Molgula manhattensis*, тогда как мидия подавляется другими обрастателями. Гидроиды подавляют балайнусов; губки — балайнусов, асцидий, мшанок; гидроид *Obelia* отрицательно воздействует на балайнусов, но косвенно положительным образом — на асцидий, которые конкурируют с балайнусами. Было выявлено также, что на жестких грунтах колониальные виды побеждают одиночных в борьбе за место, так как их неограниченный рост позволяет непрерывно рас-

ширять площадь занятого субстрата и, кроме того, они менее чувствительны к эпибионтам. Опыты с нарастанием колониальных животных (мшанок) друг на друга показали, что ни один вид не был победителем во всех случаях. Результаты взаимодействия одних и тех же видов между собой оказывались неодинаковыми при разных условиях.

Кроме конкуренции между видами большое значение имеет хищничество. Многие подвижные организмы обрастания поедают сидячих и вызывают изменение развития сообщества.

Одними из наиболее опасных для обрастателей организмов являются голожаберные моллюски, которые встречаются во многих прибрежных океанических обрастаниях. В Азовском море один голожаберный моллюск *Stiliger bellulus* поедает за сутки 100 взрослых гидрантов. В южной части Англии мелкие виды (Aeolidacea и Sacoglossa) выедают обрастания на ранних стадиях сукцессии, а крупные виды голожаберников, в основном дориды, — на поздних стадиях сукцессии. Иголокожие — морские ежи и звезды, а также крабы нередко вызывают значительное опустошение среди прибрежного обрастания. При этом в защищенных от прибоя местах хищников и растительноядных организмов бывает значительно больше и состав обрастания может существенно меняться.

И в открытом океане, и в прибрежных районах всегда можно видеть стаи рыб и отдельных рыбешек, выедающих обрастание. Больше всего они используют подвижные виды — полихет, крабов, гаммарид и др., но некоторые питаются и сидячими формами, например мелкими мидиями, иные поедают даже баланусов. Они не только значительно уменьшают численность обрастаний, но нередко меняют и процесс сукцессии. Так, при отсутствии выедания рыбами в районе Австралии опытовые пластины занимались асцидией *Penicipella vittiger*, которая подавляла развитие других асцидий, мшанок и губок.

По мере старения сообщества количество видов уменьшается. Индексом стадии развития и зрелости сообщества, по утверждению П. Дигерта (P. Dygert, 1981), может служить отношение R/B (дыхание/биомасса). Однако скорость изменения индекса снижается в ходе сукцессии и через 8 месяцев больше не отражает степени развития обрастания.

Первые фазы развития сообщества обрастания контролируются абиотическими факторами, а последние фазы — биотическими. Это не всегда так. Обычно климакс редко продолжается длительное время. Чаще всего шторма, деятельность человека, хищники и другие факторы полностью или частично разрушают обрастание и заселение начинается с начальной или промежуточной фазы.

Борьба за доминирование в обрастании может быть успешной только тогда, как отмечает Дж. Сатерленд (1976), если вид обладает постоянным высоким темпом пополнения, способностью заселять ранее занятый субстрат и быть многолетним, а также обладать способностью предотвращать последующие вторжения и чрезмерный рост эпибионтов. К. Ангер (K. Anger, 1978) считает,

что настоящей сукцессии у обрастателей нет. В его наблюдениях господство колониальной асцидии было прервано сильным волнением и снова стали преобладать баянусы. Однако прерванный процесс сукцессии и возвращение ко 2-й фазе не значит, что процесс не продолжится снова. Наблюдения Дж. Османа (J. Osman, 1977) показывают, что на глубине более 10 м на скалах население стабильное с меньшим числом доминирующих видов, чем на малых глубинах, где сообщество часто разрушается. Это подтверждают и данные Г. Лютера (G. Luther, 1977), который установил, что абиотические факторы действуют на обрастание в верхних горизонтах литорали, тогда как в нижних горизонтах литорали и в сублиторали преобладает действие биотических факторов. Правда, последние также изменяют течение развития биоценоза обрастания, причем настолько, что в обрастании не наблюдается ни устойчивого климатика, ни сукцессии (J. Sutherland, R. Karlson, 1977). При этом первые поселенцы обычно ограничивали или совсем исключали развитие других видов. При отмирании организмов места их занимали другие виды.

Смена одних групп организмов другими в сообществах происходит, и в конце развития образуются характерные для климатика сообщества, не обязательно состоящие из определенных видов, но обязательно обладающие характерными свойствами — многолетним развитием, олигомиксностью и способностью отражать нашествия остальных обрастателей. Такими свойствами обладают мидии, устрицы, некоторые асцидии и губки. По-видимому, к ним можно отнести также рифообразующие шестилучевые кораллы.

Свойства самого субстрата могут влиять в том случае, если субстрат живой. Так, на водорослях селятся некоторые мшанки и полихеты, но отсутствует баянусы. Связано это с выделением водорослями эктокринов, препятствующих поселению организмов, кроме некоторых видов, приспособившихся к ним. *Solidobalanus hesperius* селится на моллюсках, крабах, а не на мертвом субстрате.

Хотя больших различий в обрастании неживого твердого субстрата нет, но шероховатый субстрат обрастает быстрее, чем гладкий, так как к нему охотнее прикрепляются личинки.

Для всех обрастателей, в том числе и усоногих раков, большое значение имеет эксплуатационный фактор. Судно, много ходящее, имеет другой состав и количество обрастания, чем судно, большую часть времени проводящее на стоянке. Усоногие раки встречаются даже на самых быстроходных судах, на которых исчезают почти все обрастатели, их количество в таком случае невелико. Больше баянусов на судах, ходящих умеренно, не слишком быстроходных, но достаточно много ходящих. На таких судах исчезают конкуренты вроде мидии, которые смываются током воды, но судно представляет возможность лучшего питания для баянусов и лепасов, которым требуется много пищи. В морских водоводах баянусы также играют большую роль. Так, в г. Жданове на Азовском море баянусы составляли около половины всего обрастания, сырая мас-

са которого доходила до 12 кг/м². На буях, сваях причалов баланы-сы встречаются в большом количестве, являясь почти всегда одной из основных групп обрастания. Как и на судах, основное значение в этих случаях играет ток воды, омывающий обрастания.

Обильные поселения сидячих организмов связаны с их особенностью оседать стайно. Эти животные предпочитают оседать возле ранее осевших взрослых особей своего вида, что чрезвычайно важно для вида, поскольку появляется возможность перекрестного оплодотворения. Механизм этого явления заключается в привлечении личинок «веществом стайности», выделяющимся тканями осевшей особи. Им является протеин кутикулы артроподин. Это вещество циприсовидная личинка обнаруживает тактильно, ползая по субстрату в поисках подходящего места для прикрепления и наталкиваясь на уже осевших особей своего вида. Циприсовидные личинки *Semibalanus balanoides* быстро оседали в присутствии взрослых особей, тогда как в воде без них личинки жили больше месяца, не претерпевая метаморфоза.

Стайность при оседании усоногих раков позволяет им быстро создавать обширные поселения, что особенно важно, так как обрастание судов и гидротехнических сооружений развивается чрезвычайно быстро.

Другим важным свойством обрастателей является быстрота роста и начала размножения, особенно в теплых водах, и огромное количество отрождаемых личинок, часто связанное с неоднократным, иногда более 20, выметом личинок. Так, *Balanus pacificus* в Южной Калифорнии дает в год в среднем 28 пометов, число эмбрионов в кладке 15 000, а в год — 420 000 науплиусов. Как правило, на судах, гидротехнических сооружениях и внутри водоводов усоногие раки растут значительно быстрее и достигают больших биомасс, чем на природных субстратах. Обрастание на гидротехнических сооружениях достигает более 100 кг/м² и на 1—2 порядка превышает обрастание донных субстратов. Связано это прежде всего с тем, чтобы быстрый ток воды, омывающий судно или идущий внутри водоводов, дает обильное питание и приносит много кислорода, что позволяет усоногим ракам увеличивать скорость роста, быстрее начинать размножение и увеличивать количество половых продуктов.

Экология и распределение обрастателей

Преобладание разных видов обрастателей в биоценозе зависит от следующих основных причин: 1) экологических условий; 2) продолжительности нахождения субстрата в воде; 3) свойств субстрата; 4) эксплуатационного фактора.

Экологические условия для основных обрастателей значат несколько меньше, чем для необрастающих животных, так как большинство обрастателей — эврибионты. Они легко переносят значительные изменения температуры, солености, загрязнения и встречаются почти в любых условиях в морях и океанах. Эврибионт-

ность основных обрастателей, таких, как *Balanus amphitrite*, *B. improvisus*, *B. crenatus* и некоторых других, позволила им не только широко расселиться в Мировом океане, но и дала возможность противостоять многим способам борьбы с обрастанием, таким, как большинство ядовитых красок, нагреванию воды и др. Они переносят их лучше, чем многие другие обрастатели, за исключением микроорганизмов. Поэтому борьба с усоногими раками сложнее, чем с большинством других организмов.

От продолжительности нахождения в воде субстрата зависит сукцессия обрастания. Скорость и направление развития биоценоза связаны с началом развития, доминирования определенных личинок обрастателей, воздействия на разных стадиях развития абиотических факторов. Однако грубая схема сукцессии выглядит следующим образом: I фаза — первичная пленка (бактерии + диатомовые водоросли + простейшие), длительность от нескольких дней до 2—3 недель; II фаза — быстро растущие, чаще колониальные обрастатели (усоногие гидроиды, мшанки, актинии, полихеты); III фаза — медленно растущие беспозвоночные (мидии, устрицы, асцидии).

По распределению обрастателей в морской среде грубо можно выделить три области, отличающиеся не только по фауне и флоре, но и по биомассе и скорости развития обрастания. Такое деление позволяет применять более или менее действенные средства защиты судов и применять защиту в водоводах в определенные сезоны.

I. Холодноводная область, куда входят районы Арктики и Антарктики, которые в отношении обрастания могут быть охарактеризованы как наиболее бедные, число видов сравнительно невелико, срок оседания личинок и роста животных короток. Руководящими формами обрастания в Арктике являются *Balanus crenatus* и *B. balanus*, некоторые виды гидроидов и мшанок. Практического значения обрастания этих районов почти не имеют.

II. Умеренная область с бореальным и нотальным районами значительно богаче по числу видов животных и растений, встречающихся в обрастаниях. Руководящие формы обрастания — *Balanus improvisus*, *B. eburneus*, мидии, гидроиды, мшанки, асцидии. Сезон оседания и роста организмов длится 6—10 месяцев. Биомасса обрастания велика — в некоторых случаях она превышает 100 кг/м² за несколько лет развития. Суда, ходящие в эти районы, всегда нуждаются в защите. Морские водоводы необходимо защищать большую часть года.

III. Тепловодная область с тропическими и субтропическими районами характеризуется огромным числом видов обрастателей и высоким темпом их роста. Оседание личинок продолжается в течение всего года. Руководящие формы — *Balanus amphitrite*, *B. tintinnabulum*, *Bugula neritina*, устрицы, асцидии, трубчатые черви, мшанки. Наиболее характерны для этих вод кораллы, но они не встречаются в опресненных и загрязненных местах, т. е. там, где обрастание является наибольшей помехой для деятельности человека. Биомасса обрастания может быть исключительно большой,

особенно там, где преобладают кораллы. Но довольно часто биомасса обрастания оказывается даже меньшей, чем в бореальных и нотальных районах. В целом же тропическая область наиболее опасна в отношении обрастания, поэтому суда, заходящие сюда, нуждаются в усиленной защите. Противообрастающие краски готовятся для таких судов специально и содержат больше ядовитого начала. Гидротехнические сооружения, в том числе и морские водоводы, нуждаются здесь в круглогодичной усиленной защите.

Разумеется, в каждой из этих областей существует много более мелких подразделений, связанных как с условиями существования, так и с видовым составом обрастателей. Но последнее имеет все меньшее и меньшее значение, так как руководящие формы обрастания распространяются все шире в Мировом океане. Особенно своеобразны в настоящее время обрастания Индийского океана, а также западного побережья Южной Америки. Но и эти отличия, возможно, с течением времени сотрутся.

Выделение более дробных подразделений встречает большие трудности, главная из которых, помимо слабой изученности некоторых районов, состоит в том, что обрастания судов могут сильно отличаться от обрастаний стационарных объектов, а стационарные сооружения в портах обрастают иначе, чем в открытом океане.

Изучая распределение организмов обрастателей на буях вдоль атлантического и тихоокеанского побережья Америки, удалось показать, что руководящие виды постепенно сменяют один другой, часть форм заходит в смежные области. Зато сочетания таких видов характерны для каждой области (Marine fouling, 1952).

Океаническое обрастание распространено несколько иначе. Оно более равномерное, состоит из немногих видов, главным образом стебельчатых усонюгих раков родов *Lepas* и *Conchoderma*. В их зарослях встречаются полихеты, мелкие крабики, амфиподы, но их обычно значительно меньше, чем лепадид. Распределение океанического обрастания связано прежде всего с поверхностными течениями. Кроме того, значительное влияние на него оказывают температура и соленость воды. Оно полностью отсутствует там, где поверхность воды большую часть года покрыта льдом. Чем холоднее вода, тем реже встречается океаническое обрастание и особи, как правило, мельче. В опресненных водах оно обычно не встречается. Океаническое обрастание достигает своего расцвета в тропических и субтропических полносоленых водах. Правда, течения и суда нередко заносят лепадид в моря, им не свойственные, например в Берингово или Черное, но там они быстро погибают.

В целом распространение океанического обрастания совпадает с грубой схемой распространения прибрежного обрастания. Отличие только в том, что одно встречается у берегов, другое — в открытых водах. Кроме того, вся Арктика и наиболее холодная часть Антарктики свободны от океанического обрастания.

Большая протяженность в широтном и долготном направлении Советского Союза обуславливает большое разнообразие климатических условий; кроме того, большее или меньшее изолирование

внутренних морей от океана и их пониженная соленость воды также сказываются на качественном и количественном составе обрастаний различных морей СССР. Тем не менее эти моря можно грубо классифицировать как по составу обрастания, так и по его обилию.

По составу обрастания моря СССР можно разделить на четыре группы:

1. Арктические моря — море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Все характеризуются полным или почти полным отсутствием литоральной фауны. Из сублиторальной фауны основные компоненты обрастания — усоногие раки *Balanus crenatus*, *B. balanus*, виды семейства *Scalpellidae*, моллюск *Hiatella arctica*, гидроиды, мшанки, губки и асцидии. Для них характерны медленный рост обрастателей и короткий сезон оседания личинок. Практического значения обрастание в настоящее время не имеет.

2. Бореально-арктические моря — Баренцево, Белое, Берингово, Охотское и северная часть Японского. Руководящие формы обрастания одинаковы — *Balanus crenatus*, *Semibalanus balanoides*, *Mytilus edulis*. Обрастание довольно значительное, но его развитие происходит сравнительно медленно, сезон оседания личинок длится от половины до трех четвертей года.

3. Бореальные, солоноватоводные моря — Балтийское, Черное, Азовское и Каспийское. Руководящие формы обрастания — *Balanus improvisus* и *B. eburneus*, мидии, *Cordylophora caspia* и *Perigonimus megas*. Биомасса обрастания значительна везде, кроме сильно опресненных районов. Высокий темп роста обрастателей, оседание личинок происходят в течение большей части года, иногда почти весь год.

4. Субтропические участки морей, в которые можно выделить южную часть Японского моря и район Батуми в советской части Черного моря. Для них характерно преобладание в обрастаниях сидячих полихет и мшанок, меньшее значение усоногих раков. Биомасса обрастания сравнительно невелика. Темп роста обрастателей очень высокий, оседание организмов происходит почти весь год, в некоторых местах круглый год.

Наиболее сильно и быстро обрастают суда в Черном и Японском морях. И хотя по названной номенклатуре эти моря относятся к разным группам из-за видовых различий обрастателей, по обилию обрастаний они примерно равны, и суда, ходящие в этих морях, нуждаются в защите прежде всего.

Сравнение обрастания в наших морях с обрастанием в морях других стран, лежащих в тех же географических областях, не дают больших различий, ни количественных, ни качественных. Так, обрастания в Белом и Баренцевом морях примерно те же, что у берегов Англии, Франции, Атлантического побережья Америки, если сравнивать, конечно, условия с одинаковой соленостью и загрязнением и может быть одинаковыми температурами. Обрастания в Японском, Охотском и Беринговом морях так мало отличаются от обрастания северной атлантики, хотя еще ближе они к обрастаниям в северных районах Японии и на Тихоокеанском побе-

режье Америки. Обрастания Средиземноморской подобласти Черного, Азовского и Каспийского морей сходны с обрастаниями Средиземного моря, хотя из-за обилия пищи в этих морях обрастание тут дает большую биомассу. Характер обрастания в южных частях Японского и Черного морей близок к обрастаниям субтропической области обилием сидячих полихет и мшанок. Такое сходство даже отдаленных областей, имеющих более или менее близкие гидрологические условия, можно объяснить тем, что почти руководящие формы обрастателей распространены очень широко и именно они дают основной фон в обрастании. По этому основному фону разбросано много или мало местных видов, но они, как правило, не являются руководящими. Почти все руководящие формы лишь сравнительно недавно распространились так широко, некоторые лишь за последние 2—3 десятилетия.

В морях первой группы нет необходимости защищать суда от обрастания, кроме особых случаев, когда на длительное время опускают в воду точные приборы. Против обрастания в морях второй группы защита необходима в течение 6—7 месяцев, а против обрастаний в морях третьей и четвертой групп — в течение 8—12 месяцев.

МОРСКИЕ СВЕРЛИЛЬЩИКИ — ДРЕВОТОЧЦЫ

Древоточцы встречаются почти во всех морях и океанах, кроме самых высокоширотных. Очень небольшое число видов, например *Nausitora* в Австралии, обитает в пресных водах. В теплых морях они представляют настоящее бедствие. В США они ежегодно наносят убыток в 200 000 000 долларов.

О древоточцах известно очень давно. Уже во времена Марко Поло для защиты судов от древоточцев арабы использовали суда с многослойными деревянными обшивками, которые по мере разрушения накладывали одна на другую. В 1200 г. флот крестоносцев был сильно поврежден «корабельным червем» — тередо. Позднее встречаются сотни упоминаний о вреде, причиняемом древоточцами, в том числе и в русских морях. В древние времена тередо называли «ужасом мореплавателей», впрочем они иногда играли и положительную роль. Так, во время осады Севастополя в 1854—1855 гг. корабли англичан и французов были сильно повреждены древоточцами.

В России первую работу о древоточцах написал более 250 лет назад анонимный автор. Называлась она «О морских червях», и в ней приводились рисунки и описание тередо, а также вред, причиняемый ими, способы борьбы. М. В. Ломоносов в 1752 г. издал «Проект рапорта о морских червях». Затем в этой области работали Паллас (1775, 1801) и ряд других ученых.

Планомерное исследование древоточцев было начато в советское время в 30-е годы под руководством Л. А. Зенкевича (1934). Много сделали Г. А. Булатов (1932, 1941), П. К. Божич (1939),

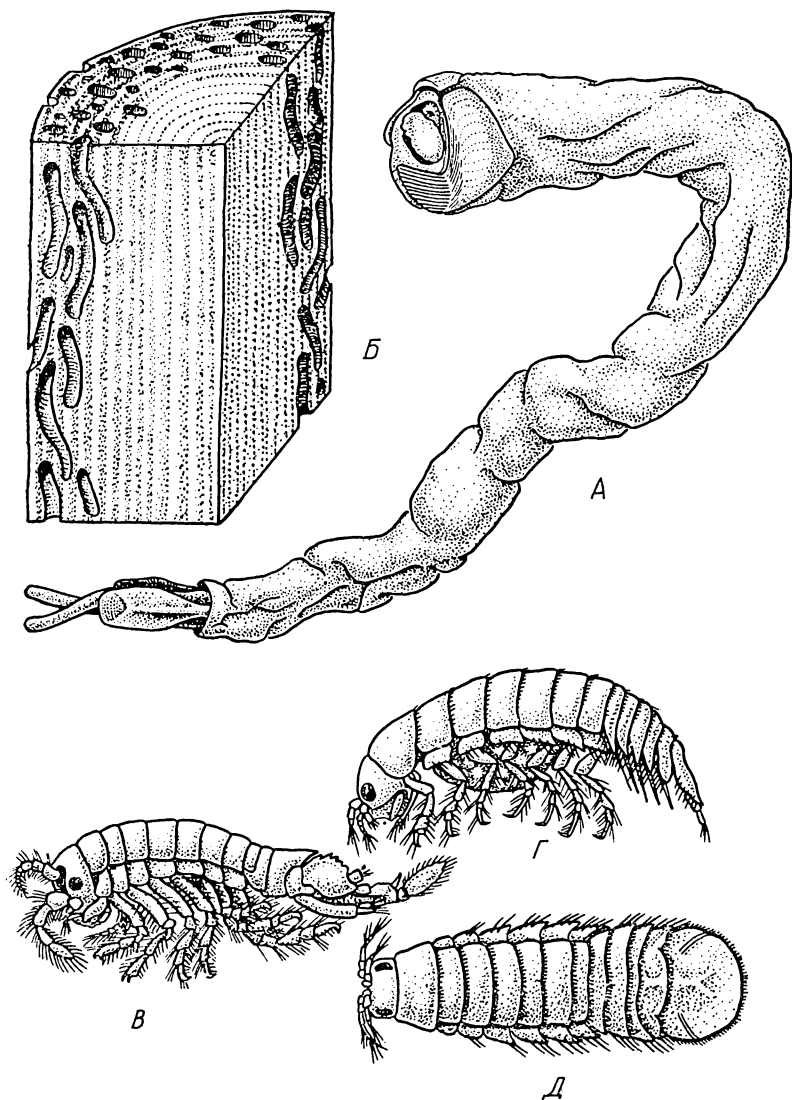


Рис. 52. Древооточцы:

А — моллюск тередо; Б — ходы тередо в дереве; В — рачок хелюра; Г—Д — рачок лимнория

П. И. Рябчиков (1957) и его сотрудники и Р. К. Пастернак (1957, 1960).

К морским древооточцам относятся прежде всего двустворчатые моллюски семейств Terebinidae и Pholadidae, обитающие в разных районах (рис. 52). Особенно много их в тропической области.

Семейство Terebinidae включает наиболее опасных древооточцев, к которым относятся виды 15 родов подсемейств Terebininae и Bankiinae.

Один из видов тередо имеет удлинённую червеобразную форму тела, небольшую раковину, расположенную на передней стороне. Две створки соединены связками. Между створками спереди помещается нога, которая служит для прикрепления и осязания, кроме того, она помогает при сверлении, закрепления моллюска в определенном положении. Раковина покрыта зубчиками. Передние зубчики более крупные, клиновидные, направлены в стороны и назад. Сокращением задней приводящей мышцы передние края створок расходятся в стороны и скоблят дерево. Число движений в минуту порядка 8—12. Передние зубчики распиливают ход, а задние его расширяют. Опилки поступают в пищевод. Передний желудок с многочисленными впячиваниями—это железы, содержащие целлюлолитические ферменты (целлюлазу и целлобиазу), которые переваривают дерево. На теле имеются вводной и выводной сифоны, а также парные известковые образования — палетки, закрывающие входное отверстие в дереве. У *Teredo navalis* палетки ложковидные. Ход тередо в дереве выстлан известью. Ходы почти никогда не прекращаются. У большинства отмечен протандрический гемафродитизм, т. е. сначала они функционируют как самцы, а потом как самки. Некоторые — одновременные гермафродиты. Оплодотворение наружное или внутреннее. Из яйца развивается трохофора, затем личинка велигер, подобная личинкам других двустворчатых моллюсков. Некоторые виды могут довольно долго вынашивать молодёжь. Личинка плавает в воде 2—3 недели и постепенно превращается в великонху, которая оседает на дереве. Очевидно, личинки обладают химическими рецепторами, так как экстракт из дерева также вызывает их оседания. Число личинок у одной особи *Teredo navalis* 0,5—1,5 млн., размножаются они в теплых морях 3—4 раза в год. Таким образом, одна особь способна отродить до 6 млн. личинок в год, которые разносятся течениями вдоль берегов, но могут также переноситься через океаны. Осев на дерево, личинка покрывается чехликом, под защитой которого она начинает вбуравливаться в дерево. Входное отверстие около 0,3 мм. Существенно оно не увеличивается и в дальнейшем, хотя в толще дерева моллюск растёт довольно быстро. Скорость роста зависит от вида и температуры воды, но почти всегда она велика. Так, в Черном море *T. navalis* через 4 месяца достигает длины 12—14 см, через год — до 35 см.

Большинство древоточцев обитает на малых глубинах, но представители рода *Xylophaga* могут жить и в батии, и в абиссали (найлены до глубины более 7000 м). Ксилофаги в основном используют дерево как субстрат, но не как пищу. Они встречаются и в бамбуке, и в кокосовых орехах. Находили их также и в изоляции подводных кабелей, которую они могут повреждать. Эти двустворчатые моллюски относятся к семейству Pholadidae. Размеры их не более 2—3 см. Тело почти полностью покрыто раковинной, передняя часть которой имеет клюв и скат с многочисленными зубчиками, служащими для сверления. Имеются сифоны, развитые в разной степени у различных видов. Как и терединидам, этой группе мол-

люсков свойствен протандрический гермафродитизм. У них, по-видимому, отсутствует планктонная стадия или она очень короткая. Молодь ползает по грунту, часто прикрепляется на взрослых особях. Питаются они отчасти деревом, а также планктоном и детритом. У некоторых видов найдена целлюлаза. Предполагают, что они используют бактерии, которые обнаружены у них в цекуле и питаются древесиной.

Для ксилофаг характерны высокая частота популяций, быстрые темпы размножения и роста, раннее созревание, легкость расселения — все это приспособления вида к жизни на глубинах.

К роду *Zachsia* (*Bivalvia*) относятся только два вида (*Z. zenkewitchi* и *Z. lignani*), живущие в корневищах морской травы филоспадикса. Так что они не причиняют вреда дереву, но, вероятно, повреждают морскую траву, дающую огромное количество детрита, которым питаются многие организмы этого района. Внешне похожи на тередо, но раковина тонкая. Размножаются они с помощью карликовых самцов, обитающих в мантийных карманах самки (до 80 экземпляров самцов в одной самке).

Род *Bankia* близок к *Teredo* и внешне представители этих двух родов схожи между собой, отличаясь более крупными размерами и палетками в форме колоска. *B. setacea* преобладает в Японском море у побережья Приморья от мыса Поворотного и на север. Южнее она встречается редко и здесь преобладает *Teredo navalis*.

Из семейства Pholadidae облигатными древоточцами являются представители подсемейства Xylophaginae (*Xylophaga*, *Xylopholas*, *Xyloredo*) и Martesiinae (*Martesia* и *Lingopholas*). Фоладиды точат дерево и камни, поэтому они разбираются в разделе «камнеточцы».

К морским древоточцам относятся также некоторые ракообразные из семейств Limnoriidae, Shaeromiidae и Corallanidae из отряда Isopoda и Cheluridae из отряда Amphipoda.

В настоящее время насчитывается более 20 видов и подвидов рода *Limnoria* и вид рода *Paralimnoria*, распространенных по всему свету. Они делают многочисленные небольшие ходы параллельно поверхности дерева. Разрушение более медленное, чем у моллюсков, но все же нередко ошутимое — диаметр свай может уменьшаться за год до 1,5 см. Лимнорииды — мелкие рачки, в среднем до 2 мм в длину. Развитие яиц происходит в выводковой камере самки, которая может откладывать яйца по 12 раз в год. Питаются деревом и обитающими в нем грибами. Из Shaeromiidae в наших морях обитает *Sphaeroma oregonensis*. Она живет в ходах лимнориид и может расширять их, но сама, по-видимому, ходов не делает. Cheluridae также живет в ходах лимнориид и большого вреда дереву не причиняет, хотя и считается сверлильщиком. Corallana обитают на литорали тропических морей, в древесине мангров, в морских и солоноватых водах. Наряду с терединидами и лимноридами полихета *Polydora ciliata* делает ходы в поверхностных слоях древесины и иногда может вызывать значительные разрушения. Пробуравливание хода в дереве осуществляется, по-видимому,

путем абразивного действия, выполняемого крепкими щетинками.

Наибольшее заражение древоточцами в СССР наблюдается в Черном и Японском морях.

В Черном море обитают три вида *Teredo*: *T. navalis*, *T. utriculus*, *Lirodus pedicellata*. Особенно многочислен первый вид. Встречаются здесь и ракообразные — *Limnoria tripunctata* и *Chelura tebrans*, но там, где тередо, лимнория и хелюра обитают вместе, дерево разрушается меньше, чем там, где живет только тередо, так как ходы рачков не дают поселиться терединидам.

Особенно многочисленны древоточцы у Кавказского побережья. Здесь обшивка судна может быть источена за три летних месяца, а деревянная свая — за 1—2 года. Количество тередо, осевших за летний сезон на 1 см², может быть около 70. На крымском берегу число оседаний за лето не больше 10—13 на 1 см², что связано с меньшей соленостью и более низкими температурами.

Для терединид условия жизни в Черном море более благоприятны, чем во многих других морях. На это указывает не только их изобилие, но и, как это показано Р. К. Пастернак (1957), способы размножения. Если в Адриатическом море *T. navalis* и *L. pedicellata* вынашивают личинок до стадии великонха, то в Черном море они выпускают их на более ранней стадии — велигера.

Азовское море было свободно от древоточцев. Это объяснялось низкой соленостью, средняя многолетняя соленость которого 10,5‰. С зарегулированием стока Дона гидрологические условия изменились. Соленость достигла 14‰. В 50-х годах Р. К. Пастернак провела исследование экологии *T. navalis* и выяснила, что те условия, которые возникнут даже при небольшом осолонении Азовского моря, будут благоприятны для тередо, так как он может существовать уже при солености в 12‰. Прогноз полностью оправдался. В 1958—1959 гг. П. И. Рябчиков и его сотрудники обнаружили терединид двух видов в Азовском море. *T. navalis* был найден вдоль всего южного побережья моря, у северного берега он был обнаружен только в селе Кирилловка. *Lirodus pedicellata* встречен был только раз на южном берегу. Позднее *T. navalis* широко расселился и по всему северному побережью. Вселение терединид повлекло катастрофическое разрушение причалов, вышек и других деревянных гидротехнических сооружений.

Н. Н. Солдатова и др. (1967) показали, что рост тередо в Азовском море значительно выше, чем в Черном. У 40-дневных моллюсков из Азовского моря масса на 70% больше, чем у черноморских. Вероятно, это вызвано обилием планктона в Азовском море. В настоящее время соленость в море стабилизировалась, но если произойдет ее дальнейшее повышение, то возникнут еще более благоприятные условия для терединид и расширение их ареала в этом море.

Баренцево море считалось свободным от древоточцев, кроме широко распространенных рачков *Limnoria lignorum* и *L. borealis*, не встречающихся только в восточном Мурмане. Разрушение дерева

лимнорией не быстрое, но защита от этого древоточца необходима. За год разрушается слой от 1 до 5 мм.

Моллюски древоточцы *Nototerredo norvegica* и *Psiloteredo megotara*, а иногда и *Xylophaga dorsalis* часто встречались в плавнике, приносимом Гольфстримом в Баренцево море. Считалось, что эти древоточцы в Баренцевом море жить не могут и вреда не причиняют. Однако в 1963 г. в губе Дальнезelenецкой был поднят плот, который был установлен в воду два года назад. Оказалось, что плот был совершенно проточен морскими червями *P. megotara*. На распиле бревен наблюдалось до 120 ходов тередо и крупные живые моллюски находились почти во всех ходах. Это было вызвано повышением температуры в 1961—1962 гг. на 0,8—1,8°C выше средней за последние 10 лет.

Белое море в отношении древоточцев изучено слабо. Здесь известна лишь *Limnoria lignorum*. Обилие древесины делает это море особенно благоприятным для древоточцев, но термический режим и низкая соленость во многих районах моря препятствуют развитию лимнорий. Наиболее благоприятны условия для лимнорий в этом море — глубины в несколько метров, так что особого вреда гидротехническим сооружениям и судам она принести не может.

Японское море характеризуется сильным поражением древесины, которое вызывают *Bankia setacea*, обитающая севернее мыса Поворотного, и *Teredo navalis*, обитающий южнее этого мыса. *Bankia* — крупная форма, достигающая 70—80 см в длину. Размножается при 7—12°C. Распространена в Северной Пацифике. Очень большие разрушения причиняет у западных берегов Северной Америки, где она распространена до залива Аляска. Встречается в Японском море, кроме южной части, в Северной Корее.

И тередо, и банкия в различных районах моря и в разные годы могут быть более или менее опасны. В одних местах они разрушают сваи за 1—2 года, в других сваи могут стоять до 10 лет. В некоторых случаях П. И. Рябчикову (1957) удалось выяснить причину неравномерности в распространении. Например, банкия, встречающаяся у берегов Сахалина в умеренных количествах, дает вспышку в южной его части у Невельска и о. Манерон. Это вызвано притоком сюда теплой воды из открытых частей Японского моря.

Лимнории в Японском море встречаются везде, но обильнее в северной его части. Существенного вреда почти не приносят. Однако в некоторых местах, например, в бухте Нагаева, вызывают значительные разрушения.

В Японском море были найдены моллюски рода *Zachisia* из семейства Teredinidae, живущие в корневищах морской травы zostеры. На глубинах Японского и Охотского морей встречается моллюск *Xylophaga dorsalis*, который сверлит дерево, но может повреждать и изоляцию кабелей, проложенных на дне моря.

В южной части Охотского моря обитают *Bankia setacea* и *Limnoria*. Первая не причинила здесь большого вреда, тогда как лимнория и распространена в этом море шире, и местами, например в

бухте Нагаева, наносит существенные повреждения древесине.

Берингово море в отношении древоточцев не исследовано, так же как и сибирские моря. Но здесь вряд ли они могут существовать.

В Балтийском море древоточцы встречаются только в проливах, ведущих в Балтику. Здесь обнаружен *T. navalis*, и разрушения, причиняемые им, довольно значительные. В море древоточцы могут заноситься с древесиной, но жить здесь не могут.

Каспийское море пока свободно от древоточцев, хотя опыты Р. К. Пастернак (1971) доказывают, что и соленость, и температурные условия вполне подходят для их жизни. С открытием Волго-Донского канала угроза появления в этом море терединид стала вполне реальной. Работы Р. К. Пастернак показали, что тередо может выдержать пребывание в пресной воде до 22 дней. Поэтому переход через Волго-Донской канал не представляет для него трудностей. Биологами было предложено установить карантин для деревянных судов. И теперь суда прежде чем попасть в Каспийское море выдерживаются в пресной воде в течение месяца. Карантин пока себя оправдал и тередо в Каспий не проник.

РАЗРУШЕНИЕ КАМЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И БЕТОНА КАМНЕТОЧЦАМИ

К камнеточцам относятся некоторые бактерии, водоросли, губки, усоногие раки, форониды, сипункулиды, полихеты, мшанки, моллюски, морские ежи (рис. 53). Сверлильщики известны с палеозоя.

Одни из них протачивают ходы только в мягких породах, другие могут точить и твердые камни. Некоторые виды разрушают раковины моллюсков, усоногих раков, кораллы. Другие могут протачивать бетон, разрушая гидротехнические сооружения, а также пластические материалы (полистирен, поликарбонат, винил и акрилик). Так, ими были разрушены бетонные массивы в Панамском канале, бетонные чехлы свай в Сан-Франциско.

Колонны храма Сераписа, расположенного недалеко от Неаполя, проточены камнеточцами. Когда-то суша в этом районе опустилась, храм оказался под водой, новое поднятие суши подняло храм на поверхность, но колонны оказались поврежденными.

Двустворчатые моллюски (*Pholas*, *Martesia*, *Xylophaga*) поселяются в обмотке подводного кабеля, разрушая его. При этом начинается утечка тока. Особенно опасно это для глубоководных кабелей, ремонт которых представляет большие трудности. Разрушение живых кораллов, моллюсков, усоногих раков обедняет фауну. Большие убытки приносят камнеточцы, сверляющие устриц. Для борьбы с этими вредителями устриц приходится опускать в пресную воду. Разрушение побережий — явление довольно частое, особенно в районах с мягкими известковыми побережьями. Основной вред наносят моллюски, но в некоторых случаях и усоногие раки, водоросли, губки и другие организмы. Биоэрозия берегов может

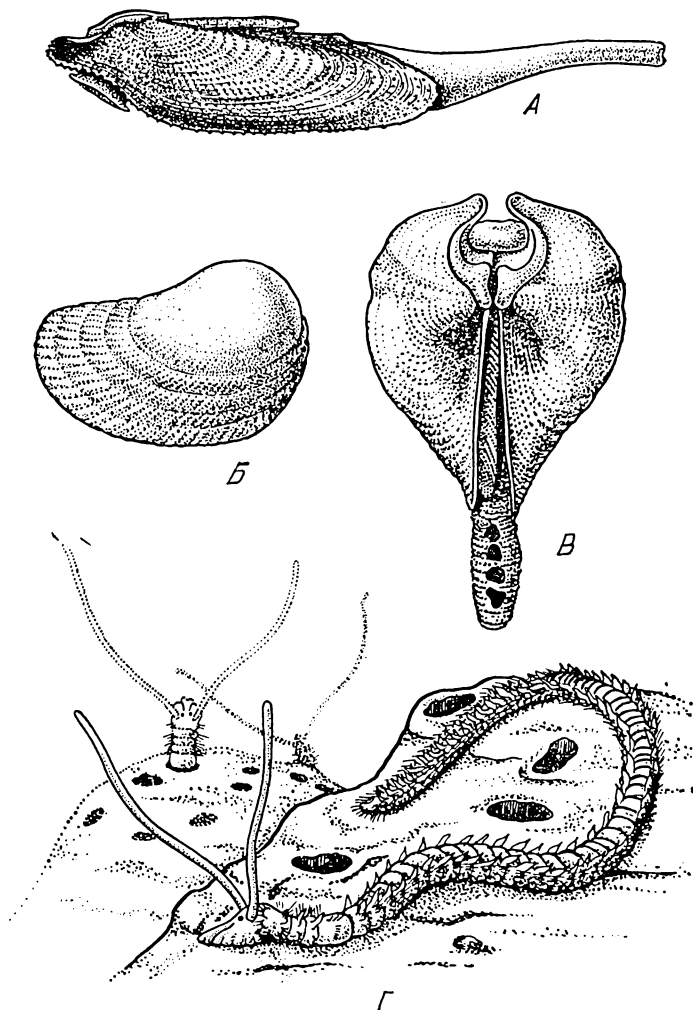


Рис. 53. Камнеточцы:

А — моллюск фолас; Б — моллюск петрикола; В — моллюск ксилофага;
Г — полихета полидора

приводить к уничтожению 2—12 мм толщи побережья в год. Например, водоросли разрушают берега у Севастополя, а разрушения в Голубой бухте у Геленджика связаны с поселениями моллюсков-сверлильщиков, в основном *Petricola*.

Сверление может быть механическим, химическим и химико-механическим. Животные, сверлящие механически, обитают в любом субстрате, а сверлящие химически — только в известняке. Например, моллюски рода *Botula* сверлят чисто механически. Живут они в мягких, известковых породах. Животное прикрепляется биссусом, а истирание камня производит спинной поверхностью створок,

которые движутся с помощью ретрактора биссуса и ретрактора ноги, а также мощным открывающим движением лигамента.

Моллюски родов *Pholas*, *Zirphaea*, *Petricola* покрыты зубчиками, поворачиваясь в норке, сверлят ими стенки. Личинки *Pholas* обладают избирательной способностью по отношению к субстрату, кроме того, при оседании на них положительно влияют поселения особей своего вида. Фолаиды имеют крепкую раковину сложной скульптуры, покрытую ребрами с зубчиками. Створки скреплены мускулами-замыкателями, ножные мышцы крепятся к особому внутреннему выросту — апофизу. Передний мускул сокращается попеременно с задним, что дает возможность створкам совершать довольно сложные движения, позволяющие моллюску сверлить породу. Нога закрепляет моллюска в норе во время работы.

Некоторые фолаиды могут светиться, например обитающий в Черном море *P. dactylus*. Светящаяся слизь выделяется через сифоны. С чем связано свечение этих живущих в норах животных, пока не ясно.

Усоногие раки рода *Lithothrya* имеют зубчики на табличках головки и чешуйках. По-видимому, с помощью этих зубчиков они протачивают ходы в мягких породах.

Механическое сверление с помощью радулы свойственно осьминогу (*Octopus vulgaris*), сверлящему отверстия в раковинах гастропод.

О химическом сверлении известно мало. Чаще оно сочетается с механическим. Разрушение известкового субстрата губкой *Clione* осуществляется с помощью амебоцитов, которые выделяют вещества, разъедающие углекислый кальций. В углубления проникают сначала отростки клеток, а затем целые клетки. Губки сверлят раковины, а также известковые субстраты, разрушая их поверхностный слой.

Мшанка *Penetrantia* выделяет фосфорные кислоты. Водоросли — фосфорную кислоту, растворяющую известняки, преобразуя углекислую известь в двууглекислую.

Сипункулиды (*Themiste*, *Phascolosoma*, *Closiphon* и др.) сверлят мертвые кораллы, известняки, мангры. Твердые породы размягчаются выделениями эпидермальных желез. Затем кристаллы обрабатываются механически, а их фрагменты размещаются между стенками кораллитов, образуя выстилку хода. Механическая абразия осуществляется эпидермальными папилами и утолщениями задних щитков.

Полихета *Polydora* выделяет кислоту, по-видимому, это продукт обмена.

Морские финики — моллюски рода *Lithophaga* — покрыты кожей, защищающей их от выделяемой кислоты. Они живут только в известковых породах. Лопастей переднего края мантии, слипшиеся вместе, могут выступать вперед между створками. Они прикладываются к своду хода и выделяют кислоту, разъедающую известь. Одни виды *Lithophaga* сверлят без вращения, другие поворачиваются при сверлении.

Двустворчатый моллюск *Penitella* сверлит раковины *Haliotis* как с помощью зубцов на каллусе, так и химическим способом.

Усоногие раки *Acrothoracica* сверлят отверстия в моллюсках, кораллах, известняках. Следы сверления акроторацид известны из ростр белемнитов. Они имеют на мантии папиллы, выделяющие угольную ангидразу и щелочную фосфатазу, которые размягчают субстрат, удаляемый затем зубчиками.

Некоторые морские ежи (*Echinoidea*) разрушают камни и скалы механически. Личинки поселяются в небольшом углублении, а после метаморфоза прибой вращает ежа в норке, а иглы истирают поверхность норы и увеличивают ее размеры, позволяя животному расти. Другие (*Echinometra lucunter*) бурят норы с помощью игл и зубов. Наибольшая скорость бурения наблюдается у молодых ежей. Средняя скорость сверления 1 мм в месяц. Питаются ежи синезелеными водорослями, обитающими в породе.

В Черном море камнеточцы довольно разнообразны. Здесь встречаются 8 родов сверлящих водорослей: три рода синезеленых, четыре — зеленых и одна — красная.

Из сверлящих губок в Черном море обычна *Clione vastifica*, разрушающая раковины устриц. Из полихет *Polydora*. Из моллюсков-камнеточцев известны четыре вида: *Petricola lithophaga*, *Barnea candidus*, *Pholas dactylus*, *Gastrochaena dubia*.

В. Н. Никитин (1951) обследовал у берегов Кавказа выходы мергелистых глин, источенные *Barnea* и *Pholas*. Оказалось, что на 1 м² было до 4000 ходов этих моллюсков. Глина, источенная камнеточцами, быстро разрушается. Размеры ее в таких местах составляют 3—4 см в год. Размеры ходов у *Pholas* до 25 см, у *Barnea* до 14 см, у *Petricola* до 2 см. Фолаиды могут повреждать также дерево и бетон.

В наших дальневосточных морях из камнеточцев известны моллюски *Barnea manilensis inornata* (*B. japonica* из Японского моря встречается на илистом грунте и вряд ли является камнеточцем), *Nettastomella japonica*, *Penitella penita*, *P. chishimana*. Здесь же и в северных морях живет *Hiatella arctica*, обитающая в щелях скал и камней, делающая ходы в литотамниуме, которая может быть отнесена к камнеточцам только с некоторой натяжкой. Камнеточцы из других групп в наших дальневосточных и северных морях почти не изучены.

Широкое распространение сверлящих организмов во всех морях и океанах и наличие сверлильщиков в целом ряде групп говорит о том, что сверление — одно из лучших приспособлений для защиты. Животные не только прячутся сами в норах, но и используют их для защиты потомства. Им удается сохранять популяцию при небольшом количестве половых продуктов. На литорали ходы защищают от волнения моря, прибой и от высыхания. Однако сверление имеет и недостатки: лишение свободы движения, сложность нахождения подходящего субстрата, опасность зарастания ходов водорослями и животными.

6

БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМАМИ

АГРЕССИВНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ — ФЕРМЕНТЫ И ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ

Среди микроорганизмов, повреждающих различные материалы и изделия, первое место принадлежит мицелиальным грибам в силу быстрого роста мицелия, богатства, мощности и лабильности их ферментных систем, позволяющих им использовать большой круг материалов как природного, так и искусственного синтеза.

В качестве своеобразной экологической ниши для грибов в настоящее время выступают различные промышленные материалы (металл, бетон, пластмассы, резина, кожа, топливо, лаки, краски, бумага и т. д.), в результате «колонизации» которых сапрофитными грибами формируется своеобразная сборная экологическая группа грибов-технофилов. Биоповреждение материалов и изделий плесневыми грибами происходит за счет механического разрушения разрастающимся мицелием, биозагрязнения и главным образом вследствие воздействия ферментов и органических кислот.

Ферменты

Разрушение материалов под влиянием ферментов наступает в результате различных реакций — окисления, восстановления, декарбоксилирования, этерификации, гидролиза и др. В мицелиальных грибах найдены ферменты, относящиеся ко всем 6 классам существующей международной классификации. Однако особенно активное разрушающее действие на большинство материалов оказывают *оксидоредуктазы*, *гидролазы* и *лиазы*. Большее значение при возникновении биоповреждения имеют не те ферменты, которые функционируют только внутри клетки (эндоферменты), а выделяющиеся в окружающую среду — экзоферменты. По современным представлениям, у микроорганизмов имеются в ДНК уникальные последовательности сигнальных кодонов, ответственных за

придание синтезируемому ферменту способности выделяться из клетки. Они находятся справа от кодона инициации, транскрибируются при образовании мРНК.

Из оксидоредуктаз особую роль в разрушении многих промышленных материалов микроорганизмами играют оксигеназы. В первую очередь это относится к биоразрушению гидрофобных, неполярных веществ типа углеводов, а также материалов, образованных циклическими соединениями. К оксигеназам принадлежат ферменты, катализирующие непосредственное присоединение кислорода к окисляемому субстрату. Реакции такого рода являются обычно первым этапом метаболизма многих чужеродных веществ живой клеткой. Если при этом происходит включение в молекулы субстрата обоих атомов молекулы кислорода, ферменты относят к подгруппе диоксигеназ. Многие диоксигеназы содержат в качестве активной компоненты гем или негемовое железо, для действия некоторых из них требуется α -кетоглутарат. Чаще всего диоксигеназы катализируют разрыв связей в ароматическом кольце. Так, у бактерий рода *Pseudomonas* активна диоксигеназа, катализирующая разрыв индольного кольца, катехина. В других случаях к субстрату присоединяется только один атом кислорода, образуя гидроксидную группу, а второй атом кислорода при этом восстанавливается до воды. Ферменты этой подгруппы называются *монооксигеназами* или *гидроксилазами*. Монооксигеназы грибов и бактерий катализируют, в частности, гидроксилирование производных фенола, окисление концевых метильных групп углеводов.

Большое значение в процессах биодеструкции имеют и другие ферменты класса оксидоредуктаз — *дегидрогеназы* и *оксидазы*. Дегидрогеназы катализируют реакции переноса водорода с одного соединения на другое. Термин «оксидаза» применяется в тех случаях, когда акцептором водорода служит непосредственно кислород. Примером последних может служить фермент полифенолоксидаза, окисляющая моно- и о-дифенолы, полифенолы, дубильные вещества. Она является купропротенидом, т. е. содержит в своем составе медь. Дегидрогеназы катализируют окисление гидроксильных групп до альдегидных и далее до карбоксильных, а также образование ненасыщенных соединений из предельных.

Своеобразны в классе оксидоредуктаз по характеру действия пероксидаза и каталаза. *Пероксидаза* катализирует окисление перекисью водорода различных органических соединений — фенолов, аминов, гетероциклических соединений. Относится к группе железопротеидов, содержит в простетической части молекулы железо порфирина. Железо пероксидазы находится в трехвалентной форме. У мицелиальных грибов значительной пероксидазной активностью обладают представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Helminthosporium*, *Geotrichum*.

Каталаза ускоряет реакцию разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород. Кроме того, слабо катализирует также окисление перекисями различных спиртов и других соедине-

ний. Активными продуцентами каталазы являются некоторые виды грибов рода *Penicillium*.

При изучении активности каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и суммарных дегидрогеназ у *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Penicillium cyclopium*, *P. chrysogenum*, *Paecilomyces varioti*, *Trichoderma viride* установлено, что максимальной активностью всех перечисленных ферментов обладают *A. niger* и *Trichoderma viride*.

Важное место в биоразрушении промышленных материалов принадлежит ферментам класса гидролаз, ибо многие из них, будучи экзоферментами, участвуют в первичной подготовке к расщеплению и метаболизации питательного субстрата. Гидролазы катализируют реакции расщепления сложных соединений на более простые с одновременным присоединением воды. Особый интерес в плане проблемы биоповреждений представляет подкласс *эстераз*. Они катализируют гидролитический разрыв эфирных связей в различных соединениях, характеризуются пониженной избирательностью, специфичностью действия. Последнее позволяет им катализировать расщепление самых разнообразных эфиров, в том числе и природных. Так, *карбоксилэстеразы*, гидролизующие эфиры карбоновых кислот, могут действовать на субстраты, содержащие самые разнообразные кислотные группы ($\text{CH}_3\text{CO—}$, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{CO—}$, $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{CO—}$ и др.) и спиртовые ($\text{CH}_3\text{O—}$, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O—}$, $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{O—}$ и др.). Даже ацетилхолинэстераза, имеющая у животных узкое «биологическое назначение» — гидролизовать ацетилхолин, являющийся нейромедиатором, переносчиком возбуждения в нервной системе, может гидролизовать и ряд других эфиров с достаточно высокой скоростью. Так, активности расщепления этим ферментом ацетилхолина, бутирилхолина, фенилацетата, 4-метоксифенилацетата и 4-нитрофенилацетата относятся как 1 : 0,01 : 2,4 : 0,85 : 0,1.

Для эстераз, выделенных из культуральной жидкости *A. niger* и *Rhizopus aclimar*, специфичность определяется практически одним признаком — наличием в субстрате сложноэфирной связи. Они способны гидролизовать триацетины, трибутирины, твины и спены. Липазы также расщепляют не только свои основные природные субстраты — жиры, но и синтетические ацилглицерины. Особенно это относится к липазам мицелиальных грибов. В то же время результаты исследований последних лет показывают, что относительно малая специфичность грибных липаз во многих случаях является кажущейся, представляет собой следствие недостаточного разделения липолитического комплекса данного гриба на отдельные специфические липазы. Следовательно, следует скорее говорить о широкой специфичности, пониженной избирательности липазного комплекса отдельных грибов. Важно отметить, что липазы мицелиальных грибов в большинстве случаев являются экзоферментами, т. е. выделяются из мицелия в окружающую среду. Высокая липазная активность обнаружена у многих представителей родов *Aspergillus* и *Penicillium*, а также *Rhizopus*, *Fusarium*, *Cladosporium* и др.

Мицелиальные грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* обладают довольно высокой активностью *фосфатаз* — ферментов,

гидролизующих эфиры фосфорной кислоты, т. е. относящихся также к подклассу эстераз. Субстраты фосфатаз достаточно разнообразны по строению: они могут быть алифатическими (например, глицерол-1-фосфат) и ароматическими (3-нитрофенилфосфат). Щелочная фосфатаза может гидролизовать полифосфаты, а также S-замещенные моноэфиры тиофосфорной кислоты, а кислая фосфатаза — O-замещенные моноэфиры этой кислоты. Есть указания, что кислая фосфатаза грибов может служить инициатором коррозии некоторых полимеров. Щелочные фосфатазы *A. niger* кроме фосфорных эфиров моносахаридов и глицерина активно гидролизуют все монофосфатнуклеотиды (за исключением циклических).

В разрушении промышленных материалов, содержащих целлюлозу (клетчатку) и другие углеводы, а также их производные, активное участие принимают ферменты группы *гликозидаз* (старое название — *карбогидразы*). Расщепление клетчатки катализируется комплексом ферментов — «*целлюлазой*». Основу его составляют ферменты, гидролизующие связи между глюкозными остатками в молекуле клетчатки с образованием целлобиозы и глюкозы — эндо-глюканаза и экзоглюканаза (C_x -ферменты). Считают, что их действию предшествует набухание молекулы целлюлозы и разрыхление ее плотно упакованной структуры под влиянием C_1 -фермента из целлюлазного комплекса.

Наиболее выраженной способностью синтезировать целлюлолитические ферменты обладают микроскопические грибы родов *Alternaria*, *Trichoderma*, *Myrothecium*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* и др. Различные виды целлюлозоразрушающих грибов способны расти и продуцировать целлюлазу лишь в определенных температурных пределах, чаще всего при 28—30°C.

В разрушении древесины грибами кроме целлюлазы существенную роль играют также гликозидазы, расщепляющие пектиновые вещества. Начинает их действие *протопектиназа*, гидролизующая в протопектине связи между метоксилированной полигалактуроновой кислотой (растворимый пектин) и связанными с ней арабаном и галактаном. Образующийся в результате этого свободный растворимый пектин гидролизует *пектинэстеразой* (не является гликозидазой) до метилового спирта и полигалактуроновой кислоты. Фермент *полигалактуроназа* (или пектиназа) катализирует гидролиз в пектиновых веществах глюкозидных связей между остатками галактуроновой кислоты, не содержащими метоксильные группы. Перечисленные ферменты вызывают мацерацию древесины и, возможно, являются основными агентами при возникновении мягких гнилей. В древесине также содержатся в достаточно большом количестве гемицеллюлозы, которые гидролитически расщепляются соответствующими гемицеллюлазами. Так, *A. niger* продуцирует очень активную ксиланазу (гидролизует ксиланы).

Особый интерес в классе гидролаз представляют ферменты группы *протеиназ*. Их основное действие — расщепление белков по месту амидных (пептидных) связей. Однако некоторые из протеиназ обладают достаточно широкой субстратной специфичностью, т. е. ма-

лой избирательностью. Это дает основание предполагать возможность какого-то участия протеиназ микроорганизмов в деструкции полимерных материалов, в первую очередь содержащих амидные и эфирные связи: мочевиноформальдегидных полимеров, акриламидных, полиамидов (капрон, найлон) и полиуретанов (поролон). По данным группы японских исследователей (1983), имеется корреляция между протеиназной активностью грибов и кислотообразованием. Грибы, не образующие кислоты, синтезируют в больших количествах щелочные протеиназы и в незначительных количествах кислые, нейтральные. У грибов — «сверхсинтетиков» кислот обнаруживаются только кислые протеиназы.

Отщепление атомов галогенов от алкилов осуществляют гидролазы группы «галоидалкил — галоидгидролазы» (КФ 3.8.1).

Ферменты класса *лиаз* катализируют негидролитическое расщепление веществ с образованием двойной связи (или присоединение групп по месту двойных связей). При этом могут разрываться связи $—C—C$, $—C—O$, $—C—N—$, отщепляемыми группами являются вода, CO_2 , аммиак и др. Ферменты этого класса характеризуются высокой специфичностью, избирательностью по отношению к субстрату. Тем не менее общая направленность их действия на расщепление веществ дает основание предположить и возможность участия в деструкции синтетических материалов. Разрушение галоидсодержащих материалов, например, протекает с участием ферментов подкласса «углерод — галоид — лиазы» (КФ 4.5).

Агрессивное действие ферментов плесневых грибов и бактерий определяется прежде всего активностью этих ферментов, которая, в свою очередь, в значительной степени зависит от температуры, реакции среды и других внешних условий.

Известно, что скорость любой химической реакции увеличивается при повышении температуры (примерно в два раза при повышении температуры на $10^\circ C$). Ферментативные реакции подчиняются этой закономерности только до $40—50^\circ C$. Будучи белками по своей химической природе, ферменты при нагревании выше $45^\circ C$ начинают денатурироваться, у них изменяется пространственная структура молекулы и вследствие этого падает каталитическая активность. При $100^\circ C$ почти все ферменты полностью утрачивают активность. Для большинства ферментов оптимальной является температура около $35—50^\circ C$. Так, у липазы *Aspergillus awamori* оптимальная температура равна $37^\circ C$, у кислой протеиназы этого же гриба — $50^\circ C$, у протеолитического комплекса *Actinomyces rimosus* — в пределах $40—45^\circ C$. Однако некоторые бактерии, обычно живущие в условиях высоких температур (термофилы), обладают ферментами с необычно высокой термостабильностью. Некоторые из них сохраняют активность на $80—90\%$ после нагревания до $90—100^\circ C$ в течение часа. При низких температурах (0° и ниже) ферменты, как правило, не денатурируются и не разрушаются, хотя активность их падает почти до нуля. На термоустойчивость ферментов большое влияние оказывают реакция среды и концентрация субстрата.

Зависимость ферментативной активности от pH среды также описывается одновершинной кривой, при этом многие ферменты максимально активны в слегка кислой среде (pH 6,0—6,9). Однако колебания значений оптимумов pH имеют в целом широкие границы (от 2 до 10) и встречаются достаточно часто. Именно в связи с этим возникли даже групповые названия ферментов — «кислые», «щелочные» и «нейтральные» фосфатазы, протеиназы и т. д. У пероксидазы плесневых грибов оптимум pH обычно лежит в границах 5,0—6,3; у целлюло- и гемицеллюлолитических ферментов *Aspergillus terreus* при pH 6,5—7,0, у *Actinomyces diastaticus* оптимальное значение pH 4,5—5,5. Однако некоторые виды грибов могут разлагать целлюлозу и в более кислой среде. Так, *Fusarium oxysporum* и *Trichoderma koningi* продолжают расти на клетчатке при pH 1,8—2,0. Липаза из *A. niger* имеет оптимальную активность при pH 5,6. «Кислые фосфатазы» плесневых грибов активны при pH 4,0—4,5, «щелочные фосфатазы» — в диапазоне pH 8,0—8,5 и «нейтральные фосфатазы» при pH около 7,0. У различных черных аспергиллов (*A. awamori*, *A. saitoi*, *A. usamii*) основным протеолитическим ферментом является «кислая протеиназа». Она продуцируется также в большом количестве многими грибами родов *Rhizopus* и *Penicillium*, в то время как у *A. oryzae* при обычных условиях выращивания очень активна «щелочная протеиназа». На среде, богатой углеводами (что приводит к снижению pH), этот же гриб вырабатывает главным образом «кислую протеиназу».

На образование ферментов грибным мицелием оказывают также влияние источники азота и углерода в питательной среде, наличие или отсутствие микроэлементов и других минеральных солей, степень аэрированности и другие факторы. Так, нитраты K^+ , Na^+ , NH_4^+ обеспечивают хороший рост гриба *A. awamori*, однако подавляют биосинтез кислой протеиназы. Наиболее благоприятное действие из азотных солей на образование этого фермента оказывает NH_4Cl , который одновременно обеспечивает и хороший прирост биомассы. Однако оптимальным «источником» азота для биосинтеза кислой протеиназы этим грибом являются органические формы (казеин, пептон, смесь аминокислот). Изменяя режим аэрации культуральной жидкости, можно в 4 раза усилить или, наоборот, замедлить биосинтез протеиназы. По мнению Н. С. Егорова и сотр. (1982), регуляция образования внеклеточных протеиназ грибами рода *Aspergillus* имеет механизм прямой адаптации. Наличие в среде легко используемых источников азота, фосфора, серы обуславливает подавление экзопроотеиназ. Когда один из источников этих элементов истощается и начинает лимитировать рост, синтез протеиназ освобождается от репрессии и длится до тех пор, пока существует дефицит одного из указанных субстратов.

Фермент липаза синтезируется *A. awamori* при добавлении фосфата аммония на 50% интенсивнее, чем в присутствии нитрата натрия. Углеводы (крахмал, глюкоза) репрессируют синтез фермента, а липиды в питательной среде индуцируют его. Особенно резко ак-

тивируется синтез липазы в присутствии ростовых веществ, содержащихся в солоде.

Катионы тяжелых металлов (свинца, серебра, ртути и др.) в концентрациях 10^{-3} — 10^{-5} моль ингибируют практически все грибные ферменты, а соли калия, аммония, магния в этих же концентрациях активируют многие из них.

Разрушение ферментами отдельных видов промышленных материалов

Имеется четкое соответствие между видом поражаемого материала и ферментативными свойствами возбудителей деструкции. У последних особенно активны бывают ферменты, расщепляющие основной тип связей в данном материале. Однако в целом в разрушении материалов участвуют многие ферменты нескольких видов грибов и бактерий, образующих биоценоз на материале, биохимизм распада имеет сложный характер. Так, биодеструкция полимеров, в молекуле которых имеются амидные и сложноэфирные связи (*полиамиды, полиуретаны, полиалкилентартраты, мочевиноформальдегидные смолы, полиэфиры на основе диолов*), может происходить в результате поражения грибами, продуцирующими активные эстеразы и протеолитические ферменты. Установлено, что полиуретаны с простой эфирной связью поражаются грибами сильнее, чем полиуретаны со сложной эфирной связью. Присутствие простой эфирной связи облегчает расщепление и дальнейшее использование полимеров плесневыми грибами. Расщеплению легче подвергаются соединения, у которых между уретановыми связями находится длинная углеродная цепочка. Наличие трех метильных групп, расположенных близко друг от друга, также увеличивает поражаемость уретанов. Разложение полиуретана почвенными микромицетами происходит в такой последовательности: остаточные свободные изоцианаты $\longrightarrow$ мочевиновые и амидные группы $\longrightarrow$ уретановые группы $\longrightarrow$ кольца изоциан-мочевой кислоты.

В состав многих полимерных материалов (*ПВХ, резин, смазок и т. д.*) входят *сложноэфирные пластификаторы*. Некоторые из них, особенно пластификаторы на основе адипиновой и себациновой кислот, являются хорошей питательной средой для плесневых грибов. Биоразрушение таких пластификаторов осуществляется грибами, активно продуцирующими эстеразы, которые расщепляют эфирную связь данных соединений. Однако возможен и другой механизм разрушения пластификаторов, в котором на первый план выступают ферменты, окисляющие эфир α -кетокислоты. Образующиеся янтарная и щавелевая кислоты вовлекаются далее в цикл Кребса. Скорость и степень микробиологического разрушения пластификатора в чистом виде и в пластифицированном ПВХ-материале различна и определяется не только стойкостью его связей к действию микроорганизмов, но и скоростью его диффузии из объема материала на поверхностный слой. Чем сильнее выражена способность пластификатора мигрировать, тем больше его потеря в

результате биологического разрушения. Так, полиэфирные пластификаторы используются микроорганизмами из пленок хуже, чем низкомолекулярные пластификаторы, хотя в чистом виде первые потребляются лучше. Это объясняется менее выраженной диффузионной способностью у полиэфирных пластификаторов.

Разрушителями древесины и материалов на основе целлюлозы (бумага, картон, книги, архивные и строительные материалы и др.) являются продуценты *целлюлазы* — комплекса ферментов, гидролизующих целлюлозу до глюкозы (действие этого комплекса описано выше). Волокна целлюлозы в древесине как бы инкрустированы *лигнином*, который представляет собой трехмерный полимер фенольной природы. Лигнин химически очень стоек. Лишь немногие микроорганизмы, и то обычно очень медленно, способны разрушать его. Присутствие лигнина в древесине препятствует действию целлюлазы. Сам лигнин разрушается под влиянием ферментативного комплекса «лигниназы», состоящего из оксидоредуктаз: пероксидазы, полифенолоксидазы и лакказы. Этот комплекс очень активен у ряда грибов, поражающих древесину. Кроме него, в распаде лигнина принимает участие *целлобиозо: хиноксидоредуктаза*, которая способствует сохранению фенолов в восстановленном состоянии, что необходимо для дальнейшего расщепления ароматического ядра. Таким образом, деструкция лигнина имеет в основе характер окислительного расщепления. Однако оно усложняется многими другими ферментативными процессами. В результате деятельности микроорганизмов разрываются β-арил-эфирные связи между мономерами лигнина. При этом наблюдается изменение количества метоксильных групп, возрастает концентрация фенольных гидроксильных групп, иногда разрушается главный элемент полимолекулы — ароматическое кольцо. Биодеструкция лигниноподобного соединения поли(3-метокси-4-оксистирила) грибами *Moraxella* и *Penicillium* идет через образование ванилиновой кислоты с последующим разрывом ароматического кольца, приводящим к получению метилового эфира β-карбоксимуконовой кислоты, который, в свою очередь, может распадаться до малеата и оксалата.

А. К. Рудакова считает недоступными и труднодоступными для грибов типы связей $R-CH_3$; $R-CH_2-R'$. Ненасыщенные же ва-

лентности типа $R=CH_2$; $R=CH-R'$, соединения типа $R-C \begin{smallmatrix} O \\ // \\ \backslash \\ H \end{smallmatrix}$;

$R-\overset{O}{\underset{||}{C}}-\backslash O-R'$; $R-CO-R'$ — доступные формы углерода для микроорганизмов.

При изучении путей расщепления углеводов плесневыми грибами, способными использовать их в качестве единственного источника углерода, установлено, что *Aspergillus flavus* расщепляет тридеканы с образованием 2-, 3-, 4-, 5-, 6-тридеканонов, среди которых преобладали три последних кетона, составляющие 97% от

общего количества всех кетонов. В качестве продуктов окисления тридеканонов обнаруживаются также вторичные спирты 2-, 3-, 4-, 5-, и 6-тридеканолы.

Окисление *непредельных углеводов* под действием ферментов идет до спиртов, альдегидов, кето- и оксикислот с последующим образованием двухосновных кислот, подвергающихся затем β -окислению. Утилизация бутадиена микроорганизмами осуществляется через образование ацетата. Промежуточными продуктами биоразрушения бутадиена являются моноэпоксид, β , γ -ненасыщенная α -кислота, акрилат, лактат, пируват.

Расщепление грибами *ароматических углеводов* сопровождается образованием фенолов, которые затем окисляются в непредельные двухосновные кислоты. Окисление алкилированных ароматических углеводов в конечном итоге завершается синтезом непредельных двухосновных, окси- и кетокислот. Окисление полициклических ароматических углеводов микроорганизмами осуществляется при участии диоксигеназы с промежуточным образованием диоксинтана, который, присоединяя 2 протона и 2 электрона, превращается в диол.

Полимерные материалы, содержащие *алкилбензосульффонаты*, используются грибами как источник углерода и серы с помощью ферментов: сульфитцитохром с-оксидазы, ацил-КоА-синтетазы, ацил-КоА-дегидрогеназы, β -оксиацил-КоА-дегидрогеназы.

Биодеструкция поверхностно-активных веществ типа алкилбензосульффонатов, имеющих в алкильной цепи от одного до трех углеродных атомов, начинается с сульффонатной группы, а у соединений с большим числом атомов — с боковой цепи.

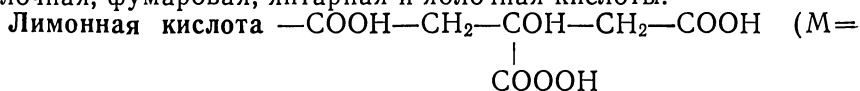
Разрушителями *резин* и *битумов* являются, в основном, продуценты эстераз. Повреждение образцов вулканизированной резины, полученной из натурального каучука, почвенными микроорганизмами происходит путем распада первичной структурной сети эластомера и разрыва связей типа эластомер + наполнитель под влиянием ферментов и других метаболитов грибов. Вместе с тем при биодеструкции натурального каучука образуются карбоксильные, гидроксильные и вторичные аминогруппы.

На материалах, содержащих минеральные компоненты, преобладают виды грибов, интенсивно продуцирующие органические кислоты, а также окислительные ферменты.

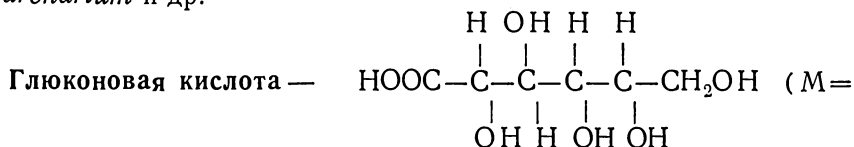
Органические кислоты

Сильнейшими агрессивными метаболитами мицелиальных грибов являются органические кислоты. Они вызывают быструю и глубокую деструкцию промышленных материалов как органических, так и неорганических, включая металлы. Из культур плесневых грибов удалось выделить более 40 различных органических кислот. Грибы рода *Penicillium* продуцируют главным образом лимонную и глюконовую кислоты, *Aspergillus* — лимонную, глюконовую и щавелевую, а мукоровые — янтарную, фумаровую и ща-

велевую. По данным известного физиолога и биохимика растений В. С. Буткевича, при определенных условиях лимонная кислота образуется в количестве 90—100% от потребленного грибами сахара. Обычно один и тот же вид гриба способен синтезировать разнообразные родственные кислоты. В зависимости от количества синтезируемых кислот все грибы можно подразделить на 3 группы: 1) выделяющие в среду относительно большое количество органических кислот (*P. chrysogenum*, *A. niger*, *A. oryzae*); 2) продуцирующие небольшие количества кислот (большинство видов); 3) выделяющие в среду ничтожно малые количества кислот (*Mucor sp.*, *Alternaria tenuis*). Чаще всего и в больших количествах плесневыми грибами образуются лимонная, глюконовая, щавелевая, молочная, фумаровая, янтарная и яблочная кислоты.



$=192,13$; $T_{\text{пл}}=153^{\circ}\text{C}$ — продукт неполного окисления углеводов). Основной путь синтеза лимонной кислоты — конденсация щавелевоуксусной кислоты с ацетил-коэнзимом в цикле трикарбоновых кислот (ЦТК). Одновременно образующиеся в ЦТК янтарная, фумаровая и яблочная кислоты также имеют 4 атома углерода в цепи и могут превращаться в лимонную через ЩУК. Наилучшим источником углерода для образования лимонной кислоты служат сахара. Накопление лимонной кислоты идет до истощения источника углерода, после чего гриб может разрушить накопленную им кислоту. Микроэлементы (Zn, Mn и др.), необходимые для жизнедеятельности грибов, могут повышать выход лимонной кислоты у одних видов грибов и угнетать у других. Все аминокислоты активизируют образование лимонной кислоты, так как при дезаминировании они ассимилируются как источники углерода. Лучший продуцент лимонной кислоты — *A. niger*, который используется для ее промышленного биохимического производства. Кроме того, значительные количества лимонной кислоты образуют *A. glaucus*, *A. clavatus*, *A. fumaricus*, *A. awamori*, *A. aureus*, *P. glaucum*, *P. arenarium* и др.



$=196,16$; $T_{\text{пл}}=130^{\circ}\text{C}$) образуется путем прямого окисления альдегидной группы глюкозы в карбоксильную под влиянием фермента глюкозооксидазы. При синтезе этой кислоты выделяется перекись водорода. Наилучшим условием для образования глюконовой кислоты является рН среды, близкое к 5,0, и хорошая аэрация. Продуцируют глюконовую кислоту многие виды грибов, среди них особенно активно *A. niger* (различные штаммы), *A. oryzae*, *P. glaucum*, *P. purpurogenum*, *P. rubrisclerotium*, *P. chrysogenum* и *P. crustaceum*.

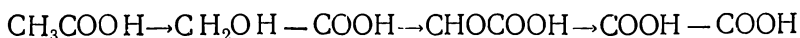
Молочная кислота — $\text{CH}_3\text{—CHON—COOH}$ ($M=90,08$; $T_{\text{пл}}^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$) образуется в результате восстановления пировиноградной кислоты. Наиболее активными продуцентами молочной кислоты являются грибы рода *Rhizopus*.

Фумаровая кислота — COOH—CH=CH—COOH ($M=116,07$; $T_{\text{пл}}^{\circ}=287^{\circ}\text{C}$) образуется в ЦТК. Может синтезироваться из уксусной кислоты через янтарную, а также из этилового спирта путем его окисления до ацетальдегида и далее в уксусную кислоту. Фумаровая кислота обнаруживается у большинства грибов, усваивающих углеводы. Ее накопление в больших количествах характерно для муковых грибов и особенно грибов рода *Rhizopus*. Однако небольшие количества фумаровой кислоты были получены и из грибов, не относящихся к муковым, — это *P. griseofulvum* и *A. flavus*. Как и в случае образования других органических кислот, для продуцирования фумаровой кислоты решающее значение имеет концентрация углеводов, а также отношение C/N в среде. Ионы цинка вызывают резкое уменьшение общего количества и скорости образования фумаровой кислоты.

Янтарная кислота — $\text{COOH—CH}_2\text{—CH}_2\text{—COOH}$ ($M=118,09$; $T_{\text{пл}}^{\circ}=183^{\circ}\text{C}$) также образуется плесневыми грибами в ЦТК. Она обнаруживается в культуральной жидкости большинства плесневых грибов, выращиваемых на средах, содержащих углеводы. Относительно большое накопление янтарной кислоты характерно для грибов рода *Fusarium*, а также рода *Rhizopus* и некоторых представителей родов *Aspergillus* и *Penicillium*.

Яблочная кислота — $\text{COOH—CH}_2\text{—CHON—COOH}$ ($M=134,09$; $T_{\text{пл}}^{\circ}=100^{\circ}\text{C}$) может синтезироваться в плесневых грибах несколькими путями: в ЦТК из фумаровой кислоты присоединением к ней воды под воздействием фермента фумарат-гидратазы или путем конденсации глиоксалевого кислоты с ацетил-КоА при участии синтетазы яблочной кислоты, или из пирувата в результате его карбоксилирования и дальнейшего восстановления. Яблочная кислота была обнаружена и выделена в небольших количествах из многих культур грибов: *A. niger*, *A. flavus*, *P. corymbiterium*, *Rhizopus*. Она присутствует в грибах обычно в смеси с другими кислотами. Однако вследствие взаимного превращения C_4 -дикарбоновых кислот только в небольшом числе случаев яблочная кислота является главным продуктом метаболизма грибов и образуется в заметных количествах.

Щавелевая кислота — COOH—COOH ($M=90,04$; $T_{\text{пл}}^{\circ}=189,5^{\circ}\text{C}$). Решающую роль в ее образовании плесневыми грибами играет уксусная кислота, о чем говорит способность грибов превращать в щавелевую кислоту до 90—100% присутствующего в среде ацетата. По-видимому, ацетат окисляется в гликолевую и далее в глиоксиловую кислоты, а последняя — в щавелевую:



Уксусная
кислота

Гликолевая
кислота

Глиоксиловая
кислота

Щавелевая
кислота

Не исключена возможность конденсации двух молекул уксусной кислоты до янтарной, которая затем последовательно превращается в фумаровую, яблочную, щавелевоуксусную. Гидролиз последней дает щавелевую и уксусную кислоты. При культивировании плесневых грибов на муравьиной кислоте имеет место третий путь синтеза щавелевой кислоты: конденсация двух молекул муравьиной с одновременным отнятием водорода ферментом формиадегидрогеназой. Характерной особенностью образования щавелевой кислоты плесневыми грибами является широкое разнообразие исходных веществ для синтеза. Ими могут быть: углеводы, аминокислоты, глицерин, различные органические кислоты. Основное условие накопления щавелевой кислоты — наличие в среде свободных оснований, нейтрализующих щавелевую кислоту.

Конкретные механизмы деструкции отдельных промышленных материалов органическими кислотами в большинстве случаев исследованы пока недостаточно. Однако не вызывает сомнения, что один из основных путей их разрушающего действия на органические вещества заключается в кислотном катализе различных реакций расщепления. Отдельные типы полимерных материалов отличаются по устойчивости к действию органических кислот. Наиболее устойчивы в этом отношении полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полистирол, фенопласты и фурановые смолы, менее стойкие поливинилхлорид, полиметилакрилат и полиамидные смолы. При температуре 20—30°C многие термопласты (полиэтилен, полистирол, ПВХ, полиметилакрилат, фторопласты, полиамиды) и реактопласты (фенопласты, эпоксидные смолы, полиуретаны и др.), а также резины на основе каучуков устойчивы к действию янтарной, щавелевой, молочной, адипиновой, лимонной и винной кислот. Однако здесь есть исключения: полиуретаны не устойчивы к щавелевой кислоте, эпоксидные смолы — относительно устойчивы к молочной кислоте. Резина ПС (тикол) неустойчива к лимонной и молочной кислотам. К 20%-уксусной кислоте устойчивы все термопласты и реактопласты (за исключением полиуретанов), из резин устойчивы СКЭБ, БК, ХСПЭ (неустойчива СКФ). К ледяной уксусной кислоте проявляют стойкость немногие пластмассы: полипропилен, фторопласты, фенолформальдегидные и фурановые смолы, резины марок СКТ и БК. Присутствие в пластмассах органических наполнителей, являющихся, как правило, хорошим питательным материалом для плесневых грибов, способствует активному образованию ими органических кислот и тем самым усиливает разрушение.

Органическим кислотам принадлежит ведущая роль в разрушении лакокрасочных покрытий. Повреждающее действие лимонной, винной и фумаровой кислот проявляется в достаточно низких концентрациях (0,09—0,4%). Сильными разрушителями лакокрасочных покрытий являются пировиноградная, глюконовая, уксусная, щавелевая кислоты. Все органические кислоты вызывают интенсивную деструкцию разнообразных целлюлозосодержащих мате-

риалов, в том числе и входящих в электроизоляционные композиции.

Особого внимания заслуживает коррозия металлов под влиянием органических кислот. В некоторых случаях они корродируют сталь даже интенсивнее, чем неорганические кислоты. Коррозия емкостей с нефтепродуктами иногда является, видимо, результатом действия на алюминиевые сплавы органических кислот, образующихся при разложении нефтепродуктов микроорганизмами. Установлено, что биокоррозия возрастает с увеличением времени контакта кислот и металла.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АГРЕССИВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

Выделяемые плесневыми грибами органические кислоты, ферменты, пигменты и некоторые другие метаболиты вызывают существенные изменения физико-механических, диэлектрических и других свойств материалов, резко ухудшают их технологические параметры. Под влиянием плесени значительно увеличивается интенсивность старения пластмасс. При этом существенно изменяются такие показатели, как прочность на разрыв и относительное удлинение. Пораженный грибами полиуретан уже через 12 недель инкубации во влажной камере при 30°C теряет свои амортизационные свойства, эластичность и быстро раскалывается под давлением и при растяжении. Под влиянием микромицетов у кремний-органических защитных покрытий увеличивается смачиваемость, коэффициент гидрофильности (Э. З. Коваль, 1982).

Под действием метаболитов грибов в условиях относительной влажности воздуха не ниже 90% и температуре 29°C снижаются напряжение при растяжении (σ_p), относительное удлинение при разрыве (E_p) и модуль упругости при растяжении (E) свободных пленок эмалевых покрытий ЭП-525, ЭП-567 по грунтовке АК-070. Под действием плесени полиэфирные покрытия обесцвечиваются, становятся ломкими, приобретают затхлый запах. При воздействии грибов на поливинилспиртовые волокна виолол и метилан наблюдаются структурные повреждения материала, снижается прочность волокна, уменьшается его толщина, увеличивается разрывное удлинение. Прочность некоторых стеклопластиков при действии микроорганизмов снижается на 20—30%.

При обрастании плесневыми грибами оптических систем наблюдается изменение коэффициентов светопропускания и светорассеяния. Даже при сравнительно слабом развитии плесневых грибов на 21-е сутки испытания коэффициент светопропускания уменьшается на 28%, а коэффициент светорассеяния увеличивается в 5 раз. Большинство плесневых грибов образуют пигментацию светлоокрашенных поверхностей различных материалов. Так, в

результате роста грибов на поверхности ПВХ-пластиков светлых тонов появляются пигментные пятна желтого, красного, бурого цвета. Такая пигментация происходит только в кислой среде, при рН 3,5—6,8. Поверхность полиэтилена, обросшего плесенью, становится шероховатой и покрывается мозаичными черно-коричневыми пятнами.

Развитие плесневых грибов на электроизоляционных материалах ухудшает их диэлектрические свойства. Образование плесени на поверхности материалов вследствие высокого содержания влаги в клетках грибов (до 90%) приводит к поверхностным перекрытиям между токоведущими частями. Органические кислоты и некоторые другие метаболиты грибов, обладающие высокой проводимостью, могут быть основной причиной ухудшения диэлектрических свойств: снижения удельного поверхностного и объемного сопротивлений, напряжения пробоя, увеличения тангенса диэлектрических потерь. Частичные разрушения поверхности материала при поражении плесенью также могут оказать влияние на электрические показатели. При этом у эпоксидных компаундов увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь и снижается прочность. Поверхность становится матовой, неровной.

У пресс-материалов (типа АГ-4С, К-18-2, АГС, ЛСК) максимальное изменение напряжения пробоя наблюдается в тех местах образцов, которые наиболее сильно поражены плесневыми грибами. В отдельных случаях напряжение пробоя уменьшается после воздействия грибов в 3—5 раз. Удельное объемное и поверхностное сопротивления материалов начинают резко снижаться в момент интенсивного прорастания мицелия, в первые 48—72 ч после начала обрастания их плесневыми грибами. Эту закономерность наблюдали для многих полимерных материалов: полиэтилена, полистирола, фторопластов, полифениленоксида, фенопластов и др. Удаление налета плесени и влаги с дальнейшим кондиционированием образцов полимерных материалов в нормальных условиях восстанавливают ρ_v и ρ_s во многих случаях практически до исходного значения. У разных видов и марок пластмасс степень изменения диэлектрических показателей под влиянием плесневых грибов может существенно различаться. Так, после 12-месячного воздействия плесени при влажности воздуха 97% величина ρ_v у фторопласта Ф-4М, фенопласта К-114-35 практически не менялась, а у фторопласта 8—2М и фенопласта ВХ4-080-34 уменьшалась в 10 раз, у полиэтилена 158-10, полистирола УП-1Э, фенопласта Э6-014-30 — в 100 раз (И. С. Филатов, 1983).

Нефтепродукты в условиях эксплуатации, хранения и транспортировки сильно поражаются микроорганизмами. Следствием этого является резкое ухудшение физико-химических и эксплуатационных свойств топлив, масел, смазок и других продуктов переработки нефти. Накопление продуктов метаболизма грибов, в частности органических кислот, сульфидов, перекисей, сероводорода и т. д., ведет к коррозии металлических поверхностей, с которыми соприкасается пораженный материал, а образуемые гелеобразные

осадки забивают трубопроводы, топливные фильтры, отводы для изменения уровня топлива и др. По зарубежным источникам имеют место массовые случаи значительного повреждения коррозией топливных систем самолетов (баков-кессонов) с разрушением герметика и последующей коррозией силовых элементов конструкций. Внутренняя поверхность емкостей для топлива в крыльях самолетов повреждается коррозией почти на 30% всего за 4-месячный срок, глубина коррозионных пятен достигает 0,3 мм. Значительно повышается кислотность топлива, а также содержание в нем смол. Одним из наиболее распространенных микроорганизмов, способных вызывать деструкцию авиатоплива, является грибок *Cladosporium resinae*, за которым в научно-технической и научно-популярной литературе закрепилось название «керосиновый грибок». По мнению некоторых английских ученых, он явился причиной ряда авиакатастроф, так как развитие этого гриба и других микробов в дистиллятных топливах или водных подушках приводило к образованию большого количества слизеобразных эмульсий, которые забивали топливные фильтры, что и вызывало в конечном итоге нарушение работы двигателя и выход его из строя.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), используемые при обработке металлов, представляют собой водные эмульсии веществ углеводородной природы. Поэтому при определенных условиях окружающей среды (t° , влажность, pH) СОЖ являются хорошей питательной средой для развития углеводородокисляющих бактерий и многочисленных грибов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Trichoderma* и др.). Развитие микрофлоры отрицательно сказывается на таких физико-химических и эксплуатационных свойствах СОЖ, как запах, цвет, вязкость, смазочная способность, стабильность, коррозия металлов и пенообразование. Так, многие побочные продукты обмена веществ микроорганизмов имеют сильный неприятный запах (амины, сероводород). В результате ухудшаются санитарно-гигиенические свойства эмульсии и затрудняется применение СОЖ в условиях производства. Очень часто СОЖ под воздействием микроорганизмов изменяет свой первоначальный цвет: сульфиды металлов, образующиеся в результате жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий, делают СОЖ темной и даже могут превращать ее в черную. Сульфиды могут также образовывать черные пятна на оборудовании и обрабатываемом металле. Побочные продукты жизнедеятельности микроорганизмов (органические кислоты, сульфиды) способствуют появлению разноцветных пятен на железе, никеле, меди, молибдене, алюминии и других металлах. Присутствие большого количества микроорганизмов повышает вязкость СОЖ, а большая биомасса различных бактерий и грибов способна закупорить насосы, трубопроводы и откладываться в емкостях, что создает дополнительные трудности в работе.

СОЖ содержат различные масла (минеральные, животные, растительные), а также реагенты, используемые для смазывания и смачивания инструмента, стружки и обрабатываемой детали.

Микроорганизмы способны разрушать эти компоненты, что приводит к увеличению трения и как следствие — к ухудшению качества шлифовки поверхности детали и уменьшению срока службы инструментов. Накапливающиеся продукты метаболизма, в частности органические кислоты, сероводород и перекиси, попадающие в СОЖ, могут вызывать коррозию оборудования и обрабатываемых деталей. СОЖ, подверженные микробиологической коррозии, часто приводят к дерматитам и желудочно-кишечным заболеваниям у рабочих-станочников, так как пораженная смазка служит благоприятной средой для развития патогенных бактерий.

Следствием развития плесневых грибов на резинах является появление пигментных пятен, потускнение поверхности, неприятный запах. Волокна плесеней, растущих на изоляционных резинах, ухудшают поверхностное электросопротивление. Образование плесени на уплотнительных резиновых деталях вызывает потерю герметичности конструкций, а в соединительных (или проводящих) трубках (шлангах) прекращение подачи топлива или кислорода, что может приводить к авариям. В ряде случаев плесневые грибы вызывают изменения прочностных показателей резин. Кроме того, появление плесени на резинах может ухудшать оптические и антикоррозионные свойства соприкасающихся с резинами материалов. Большой экономический ущерб наносят микроорганизмы, повреждая волокнистые материалы в виде сырья и готовых изделий. Особенно подвержены биоразрушениям натуральные волокна: хлопок, лен, шерсть. Развиваясь на этих материалах, микроорганизмы вызывают их частичное или полное разрушение, уменьшают прочность на разрыв, изменяют окраску и ухудшают прядильные свойства волокон.

Многие виды грибов разрушают памятники культуры, живописи, художественные изделия из кожи, кости, керамики и дерева. Эти повреждения могут быть механическими, когда гифы, развиваясь в виде окрашенных налетов, искажают изображение, и химическими, в результате которых происходит ферментативное разложение компонентов живописи, приводящее к ослаблению пленки и ее отслаиванию. Кроме этого грибы, поражающие произведения искусства, выделяют органические кислоты, пигменты и другие метаболиты, являющиеся факторами повреждения. Пигментные пятна, образующиеся в результате жизнедеятельности грибов, практически невозможно удалить с произведений живописи, выполненных на текстильных тканях, так как пигменты грибов, окрашенный мицелий и продукты его разложения глубоко внедряются между волокнами тканей.

Вопрос о повреждении металлов грибами наименее изучен, поскольку до недавнего времени предполагали, что биоповреждения металлов вызываются главным образом бактериями. Однако грибная коррозия металлов существует, и в ряде случаев она наносит не меньший вред производству, чем бактерии. Удерживая на поверхности металлов влагу и выделяя органические кислоты, грибы способствуют коррозии деталей из латуни, меди, стали,

алюминия и его сплавов. Продукты микробиологической коррозии, а также мицелий грибов, образующий мосты между металлическими контактами изделий, способствуют появлению электролитов на поверхности контактов и приводят к замыканию электрических цепей или к ухудшению электрических параметров изделий. Гриб *A. niger* вызывает сильную питтинговую коррозию сплава В95А-Т1-0 и полное растворение образца сплава свинца на 15-е сутки. Массовые потери от коррозии после испытания в течение 12 суток в присутствии *A. niger* достигли для алюминия 4 г/м², для меди 18 г/м², для железа 33 г/м², что в 4 раза превышает потери каждого металла от коррозии в контроле. Основным фактором, вызывающим коррозию металлов в присутствии грибов, является изменение физико-химических свойств среды в процессе метаболизма, о чем свидетельствует изменение рН, окислительно-восстановительного потенциала среды, стационарных потенциалов металлов. Изменение электрохимического поведения сплава свинца в средах, содержащих грибы, по сравнению с контролем объясняется значительным увеличением скорости анодного растворения. У сплава алюминия в этих условиях происходит сдвиг потенциала питтингообразования в отрицательную сторону.

При испытании пластинок из электролитической меди, полученных в различных условиях спекания и отжига, в солевой среде после нанесения взвеси конидий грибов на поверхность их, а также при их погружении в культуральную среду после роста *A. niger* и *A. flavus* были выявлены рост грибов и повреждение пластинок во всех вариантах опыта. Наблюдалось поражение грибами отдельных видов порошковых материалов и биметаллической проволоки при экспериментальном изучении и в условиях тропического климата. Высказано предположение, что как первичный механизм повреждения следует рассматривать внедрение гиф грибов в определенные участки поверхности образца, а как вторичный — действие на поверхности продуктов их метаболизма.

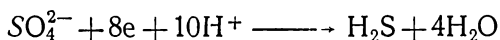
Исследование характера действия отдельных метаболитов, выделенных из грибов, на промышленные материалы только еще начинается, однако уже имеются интересные результаты. Так, в опытах кафедры биохимии Горьковского государственного университета с эпоксидными компаундами тангенс диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) значительно увеличивался при действии яблочной, щавелевоуксусной, щавелевой кислот (от 0,028 до 0,037). Лимонная, фумаровая, янтарная и α -кетоглутаровая кислоты влияли на $\text{tg } \delta$ в меньшей степени. Ухудшение такого показателя, как ϵ (диэлектрическая проницаемость), наблюдалось только при действии щавелевоуксусной и янтарной кислот, тогда как другие органические кислоты практически не изменяли эту характеристику. На ρ_v и ρ_s (удельное объемное и поверхностное сопротивления) все органические кислоты значительного влияния не оказали.

Ю. П. Нюкша и сотр. исследовали влияние ферментного препарата целлюлазы в 1%-ной концентрации на физико-механические показатели целлюлозосодержащих материалов (бумагу и

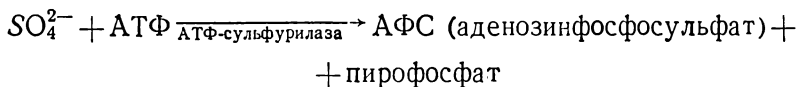
ткань). Установлено, что под действием целлюлаз снижается прочность бумаги на излом, прочность ткани на разрыв и падает степень полимеризации целлюлозы. Снижение сопротивления бумаги на излом наблюдалось также под действием раствора органических кислот, состоящего из щавелевой, молочной, янтарной, яблочной и лимонной кислот в равном соотношении в концентрации 30 г/л.

БИОХИМИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

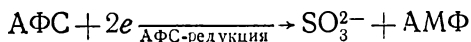
Сульфатредуцирующие (десульфатирующие) бактерии. Большинство микроорганизмов в качестве источника серы используют сульфаты и имеют ферментные системы для восстановления сульфатов до сульфидов. Такой процесс называется *ассимиляторной сульфатредукцией*, к биокоррозии непосредственного отношения он не имеет. Только высокоспециализированные бактерии — облигатно анаэробные сульфатредуцирующие, являющиеся возбудителями биокоррозии, способны использовать сульфат как конечный акцептор электронов с образованием сероводорода в большом количестве (*диссимиляторная сульфатредукция*). Эти бактерии осуществляют энергообразующую реакцию:



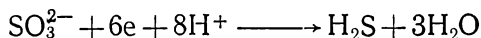
Диссимиляторная и ассимиляторная сульфатредукции отличаются тем, что при диссимиляторной для активации одной молекулы сульфата требуется только одна молекула АТФ (при ассимиляторной — две), только у «диссимиляторов» обнаружен фермент аденозин-5'-фосфосульфатредуктаза, восстанавливающий аденозинфосфосульфат до сульфита и АМФ. Процесс имеет многостадийный характер. Сначала сульфат активируется АТФ:



Затем АФС восстанавливается до сульфита:

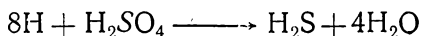
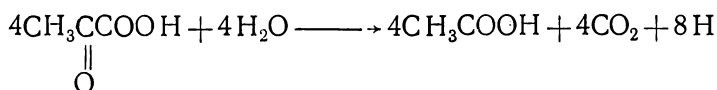


После чего происходит восстановление сульфита до сульфида:



Сульфатредуцирующие бактерии относятся к хемолитогетеротрофам: они неспособны к автотрофной ассимиляции углекислоты и для своего роста нуждаются в готовых органических веществах. В качестве доноров электронов или водорода используют обычно конечные продукты других видов брожения (лактат, малат, эта-

нол, пируват), а также формиат, холин, многие первичные спирты, аминокислоты, углеводы. Лактат, малат и этанол при этом окисляются до ацетата и CO_2 . Например:



У десульфатирующих бактерий обнаружена развитая цепь переноса электронов, включающая флавопротенды, ферредоксин, цитохромы. Их последовательность в переносе электронов пока не уточнена, однако несомненно, что источником энергии у десульфатирующих бактерий является окислительное фосфорилирование, сопряженное с транспортом электронов по системе переносчиков на сульфат. Вопрос об использовании углеводов нефти остается пока неясным, хотя он и является одним из основных в микробиологии нефти. Некоторые сульфатредуцирующие бактерии в качестве источника энергии могут использовать молекулярный водород, но они нуждаются в органических соединениях в качестве источников углерода.

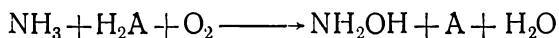
Существует несколько гипотез о механизме анаэробной коррозии стали, железа и алюминия под влиянием сульфатредуцирующих бактерий. Особый интерес представляют из них две: а) гипотеза катодной деполяризации, проявляющейся в стимуляции катодного участка корродирующего металла вследствие потребления бактериями поляризованного водорода; б) гипотеза стимуляции катодной деполяризации твердыми сульфидами железа, образующимися в результате взаимодействия ионов железа с сульфид-ионами, являющимися конечными продуктами бактериального восстановления сульфатов. Установлено, что способность сульфатредуцирующих бактерий осуществлять катодную деполяризацию зависит от их свойства усваивать элементарный водород в процессе метаболизма, т. е. от активности фермента гидрогеназы. Чем последняя больше у данного штамма, тем более интенсивно протекает коррозия, что подтверждает первую гипотезу. Однако при повышенном содержании в среде сульфида железа даже штаммы с очень малой гидрогеназной активностью могут вызывать бурную катодную деполяризацию. В связи с этим и была высказана вторая гипотеза: при высоком содержании сульфида железа в среде он образует гальваническую пару с железом, в которой сульфид является катодом, а железо подвергается коррозии. Активность сульфида железа как катода со временем снижается вследствие связывания им атомарного водорода. Благодаря гидрогеназной активности бактерий водород уходит и катодная функция сульфида железа восстанавливается. Таким образом, вторая гипотеза объясняет и значение гидрогеназной активности.

Тионовые бактерии. Окисляют сульфиды и другие восстановленные соединения серы до сульфатов. Скорость бактериального

окисления сульфидов может быть в миллионы раз больше, чем скорость химического окисления. В результате в больших количествах и быстро может образовываться серная кислота, создается агрессивная коррозионная среда. При строительстве Киевского метрополитена нейтральные грунтовые воды, омывающие тоннели на некоторых участках, в течение нескольких месяцев превратились в 0,1 н раствор серной кислоты, вследствие чего стальные крепления тоннелей прокорродировали на 40%. Однако роль тионовых бактерий как фактора биокоррозии не сводится только к образованию серной кислоты. *T. ferrooxidans* окисляет закисное сернокислородное железо до окисного, обладающего большей агрессивностью по отношению к металлическим сооружениям, поскольку является активным окислителем. Окисное железо, принимая электроны с поверхности стали или железа, восстанавливается до закисного, а оно опять окисляется бактериями до окисного. Таким образом постоянно образуется окисное железо и разрушается металл.

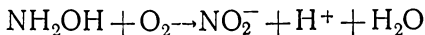
Образуемая тионовыми бактериями серная кислота может приводить к разрушению каменные и бетонные сооружения. При разрушении бетонных канализационных труб бактериальное действие переплетается с химическим. Кислород воздуха окисляет сероводород сточных вод до тиосульфата и политионата, которые снижают рН сточных вод с 9—12 до 7,5. В этих условиях начинает действовать *T. thioparus*, который образует элементарную серу и снижает рН еще больше, до 5,0. *T. thiooxidans* и *T. concretivorus* окисляют серу до серной кислоты (рН доходит быстро до 1,0), начинается коррозия бетона.

Нитрификаторы окисляют аммиак до нитратов: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$. Образующаяся азотная кислота корродирует металлические материалы и конструкции. Нитрификаторы вызывают также биоповреждение пористых строительных материалов: камней, кирпича, алебаstra, бетона. Окисляя аммиак, достаточно часто присутствующий в воздухе, дождевой воде, до азотной кислоты, они переводят нерастворимый карбонат кальция, один из основных компонентов перечисленных материалов, в растворимый нитрат кальция. Последний легко вымывается из материала, что и вызывает разрушение. Окисление аммиака до нитратов представляет собой сложный многоступенчатый процесс, ряд этапов которого еще не вполне ясен. В опытах с *Nitrosomonas europaea* установлено, что поглощение аммония происходит при участии медьзависимой транслоказы. Окисление аммония, или вероятнее аммиака, катализируется монооксигеназой:

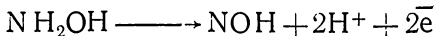


Один атом молекулы кислорода окисляет аммиак, а второй соединяется с водородом, донорами которого (А) в экспериментальных условиях могут быть НАДН или гидроксилламин, в результате чего образуется вода. Не исключено, что в живом организме в этом процессе участвует цитохром c_{554} . Ингибируют окисление аммиака

ацетилен, метан, окись углерода. Образовавшийся из аммиака гидроксилламин в аэробных условиях окисляется до нитрита:

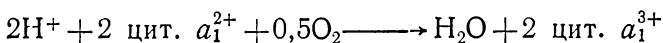
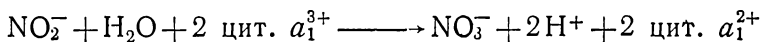


Эту реакцию катализирует гидроксилламинредуктаза. Предполагают, что промежуточным продуктом в этой реакции является нитроксил (NOH), хотя такое соединение пока не идентифицировано:



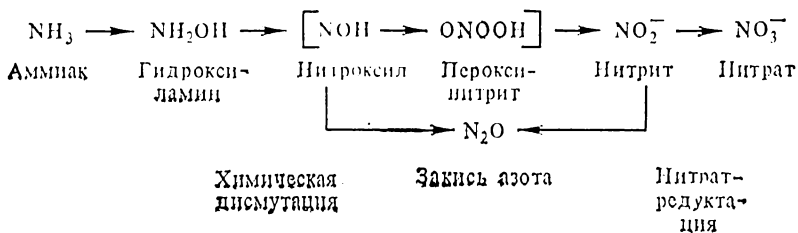
В качестве побочных продуктов могут образовываться закись и окись азота.

Реакции второго этапа (окисления нитритов до нитратов) всего вероятнее идут следующим образом:



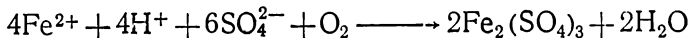
в итоге: $\text{NO}_2^- + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$.

По Е. Н. Кондратьевой (1983), весь процесс окисления нитрификаторами аммиака до нитратов протекает по схеме:

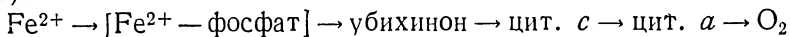


В скобках указаны соединения, которые пока не идентифицированы, их участие в нитрификации только предполагается.

Железобактерии. Окисление железа *Thiobacillus ferrooxidans* идет таким путем:

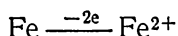


Эта реакция сопровождается незначительным уменьшением свободной энергии, поэтому клетке для обеспечения себя энергией надо много перерабатывать железа. Предполагается, что закисное железо сначала образует комплекс с фосфатом, а затем из этого комплекса электроны включаются в электронтранспортную цепь на на уровне убухинона или цитохрома (М. В. Гусев, Л. А. Минеева, 1978):

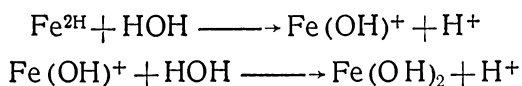


Образование восстановителя (НАД·Н) происходит в результате обратного транспорта электронов и связано с использованием АТФ, синтезируемого в процессе переноса электронов от Fe^{2+} на O_2 .

Железобактерии корродируют металлические поверхности, соприкасающиеся с водой (например, водопроводные трубы). Существенным моментом при этом является образование дифференцированно аэрируемых ячеек на корродируемой поверхности. Оно начинается с того, что на месте сварных швов и других неровностей на поверхности труб железобактерии образуют слизистые скопления, не смываемые током воды. Под ними возникают участки, не омываемые водой и поэтому слабо аэрируемые, имеющие более низкий потенциал и действующие как анод. Зоны трубы, омываемые водой и аэрируемые с более высоким потенциалом, становятся катодом. В анодной зоне металлическое железо растворяется, идет коррозия:



Освобождающиеся электроны восстанавливают O_2 или H_2O . Ионы Fe^{2+} на аноде образуют $\text{Fe}(\text{OH})_2$, который затем окисляется до $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Последний, осаждаясь на аноде, усиливает его анаэробность, увеличивает разность потенциалов, ускоряет коррозию. Железобактерии способствуют коррозии также в результате подкисления среды:



БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ФУНГИЦИДОВ И БАКТЕРИЦИДОВ

Строение биомембран и клеточных стенок. Проникновение биоцидов в клетки бактерий и грибов. Любые вещества, в том числе и антисептики, не могут проникнуть в клетки живых организмов, минуя их наружные плазматические мембраны. В связи с этим синтез и использование биоцидов должны обязательно осуществляться с учетом свойств клеточных мембран. Они отделяют живое содержимое от его неживого окружения, регулируют поступление в клетку молекул, ионов и выход их наружу.

Большинство бактериальных и растительных клеток (в том числе и мицелиальных грибов) окружены толстой, прочной и малоупругой оболочкой — *клеточной стенкой*. У грибов в ее состав входят полисахариды (глюканы, хитин, маннан), липиды, белки. У муко-
ровых грибов хитин образует в стенке фибриллярный остов, а основу матрикса составляет гетерополисахарид из нейтральных сахаров и уроновых кислот. Молекулы хитина имеют линейное строение, состоят из остатков N-ацетилглюкозамина, соединенных β -1,4 гликозидными связями. Таким образом, хитин можно рассматривать как аналог целлюлозы, у которой в каждом глюкозном остатке гидроксил замещен ацетиламиногруппой. Хитин характеризуется большой прочностью, стойкостью к химическим реагентам, высокой температуре и другим факторам. Хорошо исследован хитин *Asper-*

gillus niger. Практически он никогда не встречается в свободном состоянии, обычно связан с белками, неорганическими солями, липидами. В процессе роста мицелиальных грибов содержание хитина в клеточной стенке увеличивается.

У бактерий клеточная стенка обычно отделена от плазматической мембраны узким периплазматическим пространством. Самый внутренний слой клеточной стенки состоит из *пептидогликана* (*муреина*). Его основу составляет полимер, образованный чередующимися остатками N-ацетил-глюкозамина и N-ацетилмурамовой кислоты, связанных β -1,4-связями. Такие гетерополисахаридные цепи расположены в стенке параллельно, будучи соединенными друг с другом в поперечном направлении короткими олигопептидными мостиками. Помимо пептидогликана стенки бактериальных клеток содержат сопутствующие компоненты: полисахариды, белки, тейхоевые кислоты, липиды и липополисахариды.

Сами плазматические мембраны построены в основном из веществ трех классов: липидов (преимущественно — фосфолипидов), белков и сахаров, остатки последних химически связаны или с липидами, или с белками. Согласно новейшим данным мембраны имеют мозаичную структуру. Основу их образует двойной слой липидных молекул, расположенных гидрофильными «головками» наружу, а гидрофобными «хвостами» (остатки жирных кислот) внутрь. В эту липидную основу встроены белки («липидное море с белковыми айсбергами»). Методом ЭПР установлено, что у кишечной палочки, например, немногим более половины общей поверхности мембраны покрыто белками, на остальной же площади наружу выступают полярные головки липидов. Имеется два типа мембранных белков: 1) *периферические*, которые присоединены к наружной поверхности с помощью электростатических сил, 2) *интегральные*, расположенные одной частью в окружающей водной среде, другой — в липидной основе, зачастую пронизывая мембрану насквозь. Как липидные, так и белковые молекулы способны к латеральному движению в мембране.

Механизмы транспорта веществ через биомембраны. Проблема транспорта любого вещества через мембрану имеет три аспекта: 1) как вещество проходит через гидрофобный липидный барьер; 2) каково отношение между внутриклеточными и наружными концентрациями; 3) если вещество перемещается против градиента концентраций, то за счет чего это достигается? Обычно различают три типа мембранного транспорта: пассивная диффузия, облегченная диффузия (мембранные переносчики) и активный, энергозависимый транспорт.

Пассивная диффузия осуществляется путем диффузии по градиенту концентрации, т. е. из среды с более высоким содержанием вещества в среду с более низким и не требует затрат энергии. Для веществ, растворимых в липидах (основных веществ биомембран), этот процесс в основном хорошо описывается обычными законами диффузии, согласно которым скорость диффузии вещества определяется его растворимостью в мембране, разностью концентраций

снаружи и внутри клетки, а также коэффициентом диффузии. Менее исследован пассивный транспорт водорастворимых веществ. Предполагается, что гидрофобные углеводородные цепи липидов постоянно извиваются в мембране, образуя в ней временные пустоты, через которые проникает вода и растворенные в ней небольшие незаряженные молекулы. Однако теория «временных дырок» не может объяснить проницаемость мембран для крупных гидрофильных молекул. В этом случае очень плодотворны представления о наличии в плазматических мембранах достаточно большого количества постоянных пор. Из внешней мембраны грамотрицательных бактерий выделены особые белки, делающие мембраны проницаемыми для сахаров и других водорастворимых метаболитов. Такие белки, имеющие пока разные названия (порины, матричные белки, колицины), пронизывают мембрану и образуют поры, каналы, пропускающие молекулы с массой до 600—900, но задерживающие макромолекулы. Мутанты кишечной палочки, дефектные в отношении пассивного транспорта, лишены матричного белка. Число каналов (пор) в мембране пропорционально количеству этого белка.

Прохождение ионов через мембрану путем пассивного транспорта зависит не только от разницы концентраций, но и от разности электрического потенциала. Выделены каналые белки для анионов и катионов.

Известны некоторые конкретные особенности пассивного транспорта веществ в клетку. Так, диффузионное проникновение неэлектролитов в клетку идет в 100—10 000 раз медленнее, чем их диффузия через слой воды такой же толщины. Для молекул неэлектролитов с массой более 70 и диаметром более 0,5 нм скорость диффузии в живую клетку обратно пропорциональна квадратному корню из молекулярной массы и прямо пропорциональна растворимости в липидах. Взаимосвязь между липофильностью биоцидов и их токсичностью показана, например, для фенолов и бензохинонов. По данным И. В. Злочевской, динитропроизводные тетрагидрохинолина по сравнению с моонитропроизводными отличаются значительно меньшей фунгитоксичностью и одновременно меньшей (в 30—50 раз) растворимостью в жирах. Известно также, что увеличение гидрофобности производных тетрагидронафталина путем алкилирования приводит к резкому возрастанию биоцидности. Более подробное исследование этой проблемы показало, что здесь имеет значение не просто способность растворяться в липидах, а коэффициент распределения «масло — вода», т. е. соотношение между липидной и водной растворимостью. Объясняется это, видимо, тем, что биоцид, проникая в клетку, должен преодолевать как липидный, так и белковый гидрофильный слой, т. е. должен иметь двойную растворимость. При одинаковом коэффициенте распределения у группы веществ, близких по строению, проницаемость обычно обратно пропорциональна размеру молекулы. Молекулы с массой менее 70 проникают не в соответствии с их жирорастворимостью, а значительно быстрее, по-видимому, через поры. Путем пассивной

диффузии через цитоплазматическую мембрану бактерий в клетку поступают такие бактерициды, как триметоприм, нитрофураны, оксолиновая кислота, сульфаниламиды. Ряд крупных водорастворимых антибиотиков (рифамицины, макролиды, линкомицин) также проходят через цитоплазматическую мембрану путем пассивной диффузии. Хотя их диффузия происходит очень медленно, связывание антибиотиков с клеточными структурами способствует тому, что диффузия продолжается до насыщения всех клеточных рецепторов.

Облегченная диффузия связана с тем, что существуют специальные вещества — переносчики молекул и ионов. Соединяясь с транспортируемыми молекулами, которые сами в мембране не растворяются, они как бы «протаскивают» такие молекулы через мембраны. При этом транспорт идет, как и при обычной диффузии, по градиенту концентрации, но со значительно большей скоростью. Облегченная диффузия обычно характерна для водорастворимых веществ. Большинство (если не все) мембранных переносчиков являются белками. Конкретный механизм функционирования переносчиков при облегченной диффузии исследован недостаточно. Предполагалось, что они обеспечивают перенос путем челночного или вращательного движения в мембране. В последнее время появились сведения, что белки-переносчики изменяют свою конформацию при контакте с транспортируемым веществом, в результате чего в мембране открываются «ворота», или каналы. Облегченная диффузия отличается от обычной не только большей скоростью, но и способностью к насыщению при увеличении концентрации переносимого вещества, что определяется «мощностью» переносчика. Этот тип диффузии может быть также подавлен с помощью ингибиторов. Иногда транспорт вещества с участием переносчика сопровождается переносом другого соединения в том же направлении. Это явление называется «симпортом». Например, транспорт сахаров и аминокислот через клеточную мембрану сопровождается переносом натрия в том же направлении. Если транспорт какого-либо вещества сопровождается переносом другого в противоположном направлении, то такое явление называют «антипортом». Предполагается, что у аэробных бактерий облегченная диффузия не играет большой роли. У анаэробов этот процесс, видимо, участвует в поглощении ряда соединений и выводе из клетки продуктов брожения. Установлено, что путем облегченной диффузии в бактериальную клетку поступают некоторые антибиотики. При этом они используют переносчики питательных веществ, с которыми имеют структурное сходство: D-циклосерин (использует один переносчик с D-аланином), сидеромицины (общий переносчик с сидераминами), фосфомицин (общий переносчик с глицерофосфатом и гексозо-6-фосфатом).

Благодаря открытию у бактерий и грибов малоспецифических переносчиков мелких пептидов, разработан новый путь синтеза биоцидов со способностью быстро проникать в клетку. С этой целью используют различные токсические аналоги аминокислот, присое-

диния их к мелким пептидам. Например, биоцид алафосфин представляет собой дипептид аланил-аланин, у которого карбоксил одного из остатков аланина замещен фосфоновой кислотой.

Активный транспорт. Биомембраны обладают не только пассивной проницаемостью, но, действуя подобно насосу, могут «перекачивать» вещество в сторону его большей концентрации, т. е. из более разбавленного раствора в менее разбавленный. Это явление называется *активным транспортом*. Для него характерны следующие признаки: во-первых, специфичность по отношению к субстрату: на наружной поверхности мембраны образуется комплекс «переносчик — субстрат»; во-вторых, потребность в метаболической энергии; переносчик обладает высоким сродством к субстрату, когда он обращен к внешней стороне мембраны, и низким сродством к нему, когда обращен к ее внутренней поверхности. На эти изменения переносчика и расходуется энергия.

Нерастворимые твердые вещества могут поступать в живой организм и в виде твердых небольших частиц или капель. Это происходит путем обволакивания, окружения таких частиц внешней мембраной клетки с дальнейшим выталкиванием внутрь клетки. Такой путь поступления называют *эндоцитозом* (или при поглощении твердых частиц — *фагоцитозом*, а при «заглатывании» капель — *пиноцитозом*).

Образование пиноцитозных вакуолей связано с формированием на поверхности клетки коротких и тонких наружных выростов, окружающих капельку жидкости с содержащимися в ней веществами, которые пристаю к клеточной мембране. Затем следует инвагинация такого участка в глубь цитоплазмы и его постепенное отшнуровывание. Стенка образующейся при этом вакуоли сохраняет полное сходство и по толщине, и по строению с плазматической мембраной.

Плазматические мембраны всех способных к пиноцитозу клеток покрыты снаружи слоем полисахаридов, что придает их внешней поверхности характерный волокнистый вид. Вполне вероятно, что эти полисахариды связывают вещества, которые индуцируют пиноцитоз. Возможно, что проникновению веществ предшествует притяжение и адсорбция их частиц на поверхности мембраны клетки. Процесс же отрыва от клеточной мембраны происходит с помощью ферментов. Активными участниками адсорбции, по-видимому, являются гликопротеиды и липиды. После адсорбции заряженных частиц различных веществ, которые индуцируют пиноцитоз, наблюдается сморщивание плазмалеммы с образованием складок. Это является признаком понижения поверхностного натяжения клеточной мембраны. Вследствие этого усиливается связь между клеточной мембраной и примембранным гелеобразным слоем цитоплазмы, поэтому мембрана в этих местах не разрывается, а втягивается, образуя пиноцитозные каналы. Таким образом, роль пиноцитоза сводится к включению в клетку высокомолекулярных соединений и относительно крупных частичек. Молекулы ДНК легко проникают в клетку, например, при трансформации. Известно

также, что многие ферменты могут транспортироваться через мембрану без потери их активности.

Особенности транспорта ионов, влияние pH и температуры на проникновение фунгицидов в клетки мицелия грибов. Перемещение ионов через мембрану, каким бы путем оно ни происходило, т. е. путем диффузии или активно, всегда сопряжено с известными затруднениями, так как ион должен при этом переходить из водной фазы в липидную. Наиболее существенное из этих затруднений связано с наличием гидратационной воды, которая почти всегда (за исключением некоторых особых случаев) окружает ион и значительно увеличивает его объем.

В водных растворах молекулы воды удерживаются вокруг ионов электростатическими силами, источником которых служат заряженные частицы атомного ядра. Чем ближе могут подойти к заряженному атомному ядру молекулы воды, тем прочнее они связываются. Одновалентные катионы образуют ряд, в котором радиусы этих ионов в негидратированном состоянии увеличиваются от лития к цезию: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$.

Между радиусами гидратированных и негидратированных катионов щелочных металлов существует обратная зависимость и, следовательно, в приведенном ряду для гидратированных катионов длина радиусов будет меняться в противоположном направлении, т. е. у Li^+ больше Na^+ и т. д. Поливалентные катионы удерживают значительно больше воды, чем одновалентные.

Большие размеры гидратированных ионов затрудняют их проникновение через липидную фазу мембран, поэтому во многих случаях проницаемость электролитов тем ниже, чем больше заряд иона. Для анионов проницаемость, как правило, тем выше, чем меньше степень диссоциации данной соли. Гидратированные ионы могут пройти сквозь липидную мембрану или после освобождения от связанной воды, или по какому-то гидрофильному пути. Установлено, что более вероятным является второй механизм прохождения через мембраны. Конкретные описания этого механизма во многом еще остаются дискуссионными.

Существенное влияние на проницаемость веществ, в том числе и биоцидов, через мембрану микробных клеток оказывают условия среды (температура, pH и др.). Так, для культуры *Candida utilis* было установлено, что при увеличении температуры от 20 до 30° скорость поглощения ионов Cu^{2+} , поступающих внутрь клетки посредством активного транспорта, увеличивается более чем в три раза. Дальнейшее же увеличение температуры до 42° ингибировало процесс поглощения. Другая закономерность прослеживается в случае действия ионов серебра на те же клетки: все ионы Ag^+ практически сразу связываются *C. utilis* независимо от того, при какой температуре инкубировали дрожжи, поскольку поглощение серебра идет адсорбционным путем.

Поглощение ионов меди зависит и от pH инкубационной среды. Кислые и щелочные значения pH оказывают ингибирующее действие на процесс поглощения меди клетками *C. utilis*. Наличие по-

верхностного заряда на микробных клетках приводит к возникновению у поверхности клеток при кислых и щелочных значениях рН двойного электрического слоя, диффузия через который затруднена. Мицелий *Penicillium nigricans* относительно устойчив к действию солей тяжелых металлов при кислых значениях рН, в то время как при нейтральных значениях рН чувствительность к ним повышается.

Исследованиями Г. И. Рубан показано первостепенное значение рН в проявлении грибостойкости резин. Рост гриба *Aspergillus flavus*, выделенного из резины и перенесенного на питательную среду с 5 мг/мл пентахлорфенолята натрия, на 100% подавляется при рН 3—6 и только на 30% при рН 8. Фунгицид гексахлорофен, наоборот, активно подавляет рост гриба при рН 7, а при рН 5 рост не ингибируется.

Сотрудниками кафедры биохимии Горьковского государственного университета установлено, что хлорокись меди и гексаметилендиамин в концентрации 10^{-3} М подавляют прорастание спор мицелиальных грибов на 90% при рН 5,0. В щелочной среде (рН 8,0) фунгицидное действие хлорокиси меди усиливалось (100% ингибирование прорастания спор), а гексаметилендиамина, наоборот, ослаблялось (35% ингибирования). Зависимость фунгицидной активности от рН среды в большинстве случаев объясняется действием рН на характер диссоциации фунгицидов, которая оказывает существенное влияние на проникновение последних в клетку. Большое значение имеет также действие рН на структуру и свойства клеточных мембран, от которых также зависит скорость поступления фунгицида в клетки. Мицелий гриба *Aspergillus niger* при низких значениях рН (1—4) поглощает бихромат аммония в максимальном количестве, а в щелочных условиях (рН 10) его поступление замедляется примерно в 3 раза. При кислых значениях рН ионы хрома обнаруживаются во всех компартментах клетки: цитоплазме, клеточной стенке, вакуолях и органеллах. Сдвиг реакции среды в щелочную сторону приводит к значительному снижению содержания ионов хрома в органеллах.

Под действием факторов среды меняется проницаемость не только антисептиков, но и некоторых компонентов цитоплазмы. Так, например, четвертичные аммониевые соединения в концентрации 0,1%, оказывающей фунгицидное действие на *Aspergillus ustus*, вызывают выделение из клеток гриба в раствор аминокислот, углеводов. В нарушении нормальной клеточной проницаемости *A. ustus* большую роль играет температура окружающей среды: эффект выхода веществ усиливается при повышении температуры окружающей среды в тех пределах, в которых клетки остаются еще живыми.

Особенности транспорта бактерицидов через клеточную стенку и цитоплазматическую мембрану бактерий. Целый ряд бактерицидов проявляют высокую активность только в отношении грамположительных бактерий, что связано, видимо, с большей простотой строения их клеточных стенок по сравнению с грамотрицательными. Это подтверждается и опытами с обработкой последних хела-

тообразующим агентом — этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА), которая существенно увеличивает чувствительность данной группы бактерий к бактерицидам. При обработке высвобождаются 30—50% липополисахаридов стенки, вероятно, вследствие связывания стабилизирующих клеточную стенку катионов кальция и магния. Так как цитоплазматическая мембрана и пептидогликаны вряд ли существенно изменяются при обработке ЭДТА, предполагается, что проникновение многих бактерицидов (в том числе антибиотиков) в их клетки в значительной степени зависит от липополисахаридов стенки. Об этом же свидетельствуют и результаты изучения мутантов *E. coli* и *Salm. minnesota* с измененными липополисахаридами. У мутантов, «сверхчувствительных» к антибиотикам и другим бактерицидам, липополисахариды оказались дефектными по содержанию некоторых моносахаридных структурных единиц.

Клеточная стенка грамотрицательных бактерий не способна к транспорту путем облегченной диффузии. Однако в белковом матриксе внешней мембраны стенки образуются поры, пересекающие и липидные слои. Они позволяют свободно и достаточно быстро проходить через внешнюю мембрану гидрофильным соединениям с молекулярной массой не более 600—700. Такая проницаемость неспецифична. Мутации, затрагивающие структуру белков матрикса стенки, снижают чувствительность бактерий к антибиотикам.

Липидорастворимые соединения пересекают внешнюю мембрану стенки, проходя через двойной слой путем пассивной диффузии.

Во внешней мембране грамотрицательных бактерий существуют специфические рецепторы высокомолекулярных незаменимых питательных веществ (например, витамина B₁₂). Бактерициды, близкие по структуре этим веществам, могут использовать их рецепторы для проникновения через мембрану.

Цитоплазматическая мембрана также обладает у бактерий определенной барьерной функцией для биоцидов. Клеточная оболочка существенно увеличивает этот барьер. Вместе они составляют у ряда грамотрицательных бактерий (например, *Pseudom. aeruginosa*) основной фактор, определяющий чрезвычайно высокую устойчивость к антибактериальным препаратам.

ФУНГИЦИДЫ И БАКТЕРИЦИДЫ КАК ИНГИБИТОРЫ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Механизм взаимодействия фунгицидов и бактерицидов с биологически важными веществами клетки микроорганизма. Фунгициды и бактерициды взаимодействуют с достаточно узким кругом функциональных групп веществ микробной клетки, однако это те группы, которые играют важнейшую роль в метаболизме и образовании клеточных структур. Наиболее часто атакуемой группой является *тиоловая (сульфидрильная)*. Структура молекул белков, следовательно, и их биологическая активность (в том числе ферментативная), во многом зависят от наличия и расположения в мо-

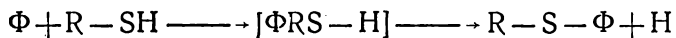
лекуле тиоловых групп. Функционирование кофермента А, липоевой кислоты, цистеина и глутатиона осуществляется в основном через эти же группировки.

С тиоловыми группами взаимодействуют биоциды, содержащие катионы тяжелых металлов, хиноны и некоторые другие фунгициды с кетогруппами в молекуле, дитиокарбаматы, метилизотиоцианат, каптан и другие соединения типа $R-SCCl_3$.

Другими важными акцепторами биоцидов в клетке являются аминогруппы. Они наряду с тиоловыми определяют структуру и биологическую активность белков. Примерами фунгицидов, реагирующих с аминогруппами, могут быть дирен (2,4-дихлор-6 симметризин) и его гомологи. Фунгициды и бактерициды взаимодействуют в клетке также с теми веществами, в молекуле которых есть карбоксильные, альдегидные и спиртовые группы. Взаимодействие биоцидов с перечисленными группировками может осуществляться различными путями: нуклеофильного замещения, окислительно-восстановительной реакции, образования хелатов и т. д. Достаточно часто происходит нуклеофильное замещение, когда биоцид замещает в каком-либо метаболите протон водорода. Механизм замещения может быть мономолекулярным или бимолекулярным в зависимости от строения фунгицида, функциональной группы и даже растворителя.

В реакции мономолекулярного нуклеофильного замещения биоцид сначала приобретает активную форму (иона или свободного радикала), которая уже взаимодействует с клеточным метаболитом. Так, некоторые хлорсодержащие биоциды могут образовывать карбоновые ионы. Предполагают, что окись этилена и элементарная сера реагируют с клеточными компонентами в форме свободных радикалов. Вопрос о возможности их образования серосодержащими фунгицидами и бактерицидами в условиях высокого содержания воды в клетке остается пока дискуссионным.

В реакциях бимолекулярного нуклеофильного замещения образуется переходное промежуточное соединение биоцида и функциональной группы, например тиола:



Взаимодействие фунгицидов и бактерицидов с клеточными метаболитами по типу окислительно-восстановительного процесса может быть проиллюстрировано на примере таких токсикантов, как озон, гипохлорид, сероводород, сульфиты, сероуглерод. Эти соединения могут не только разрушать функциональные группы метаболитов, их действие может состоять в удалении избыточных электронов или, наоборот, передаче электронов клеточной системе. Если возникающие при этом резкие изменения электронной плотности не уравниваются глутатионом и другими окислительно-восстановительными буферными системами клетки, метаболизм дезорганизуется. Есть предположение, что один из возможных механизмов фунгитоксичного действия серы состоит в удалении протонов с протопласта. Чувствительные к сере грибы быстро восстанавли-

вают ее до сероводорода. Источники используемых при этом протонов, по-видимому, дегидрогенизируют системы дыхания. При недостатке протонов эти системы могут прекратить функционирование. Таким же путем сера может конкурировать с кислородом за протоны с терминальных оксидаз, вызывать ингибирование окислительного фосфорилирования.

Катионы многих металлов или входят в состав ряда ферментов, или являются активаторами ферментативного действия, участвуют и в других метаболических процессах. Фунгициды и бактерициды хелатирующего действия (типа 8-гидроксихинолина), связывая металлы, ингибируют реакции, в которых они участвуют.

Перечисленные механизмы взаимодействия биоцидов с клеточными метаболитами не исчерпывают все многообразие путей их токсического влияния на клетку. Не менее важны фунгициды более узкого, избирательного действия, известные как специфические ингибиторы определенных ферментов, процессов синтеза белков и нуклеиновых кислот.

Большой интерес представляют и соединения, разрушающие клеточные мембраны.

Ингибирование ферментов. Важнейшую роль в жизнедеятельности всех микроорганизмов, как и любых других представителей живого мира, играют ферменты. Процессы метаболизма, функционирование биосинтетических путей, мобилизация и передача энергии, подвижность, транспорт многих веществ в клетку и из клетки — все это в конечном счете зависит от ферментов. Токсичность многих биоцидов для живых организмов как раз и обусловлена их ингибирующим действием на ферменты, т. е. подавлением активности последних. Ингибирование даже одного какого-либо фермента, участвующего в важном метаболическом процессе, приостанавливает весь процесс и оказывает глубокое, а иногда и летальное действие на организм. Имеется несколько возможных путей подавления активности ферментов: 1) нарушение работы каталитического участка; 2) прямое влияние на участок связывания субстрата; 3) действие на участок связывания кофактора. Специфические ингибиторы избирательно подавляют активность одного фермента или небольшой группы, близких по строению и свойствам. К специфическим ингибиторам относятся, например, фтористый натрий — ингибитор фосфатаз, фенантролин — металлсодержащих ферментов, п-хлормеркурибензоат — SH-ферментов, диизопропилфторфосфат (ДФФ) — сериновых ферментов. *Ингибирование может быть обратимым и необратимым.* Следует сразу же оговориться, что это деление в некоторой степени условно, так как многие обратимые ингибиторы характеризуются очень высоким сродством к ферменту. Примерами обратимых ингибиторов являются клеточные метаболиты и их структурные аналоги, снижающие активность ферментов. Различают два основных типа обратимого ингибирования ферментов: *конкурентное и неконкурентное.*

При конкурентном ингибировании химический аналог субстрата может образовывать комплекс с активным центром фермента.

Если такой комплекс относительно стабилен, аналог будет предотвращать или уменьшать доступ субстрата к ферменту и будет наблюдаться конкурентное подавление фермента. Классическим примером конкурентного ингибирования является действие малоната натрия на сукцинатоксидоредуктазу. Фунгицидное действие этионина на фитофтору объясняется тем, что он является структурным аналогом аминокислоты метионина, связывается вместо него с метилтрансферазами и в результате прекращает действие последних, блокирует очень важный процесс переноса метильных групп. 2,4-Дихлорфеноксиуксусная кислота конкурирует с гликолевой при действии гликолатоксидазы, ингибируя последнюю. Алкил-четвертичные аммониевые соли ингибируют НАД-зависимые дегидрогеназы, конкурируя за них с НАД.

Неконкурентный ингибитор связывается с ферментом вне активного центра, поэтому конкурентных отношений между субстратом и ингибитором нет, и степень ингибирования зависит только от концентрации последнего. Взаимодействуя с ферментом, неконкурентные ингибиторы вызывают существенные изменения конформации фермента, пространственной структуры активного центра, что и нарушает нормальное связывание субстрата. Ингибирующее действие биоцидов на ферменты может быть основано на том, что биоциды способны в некоторых случаях блокировать активаторы или кофакторы ферментов. Так, ферменты, зависящие от аминов или тиолов, ингибируются биоцидами, реагирующими с аминами или тиолами.

Ряд бактерицидов и фунгицидов ингибируют ферменты, взаимодействуя с коферментами, инактивируя их. Например, каптан и дихлон ингибируют у *Neurospora* превращение пирувата в ацетилкоэнзим А и в результате этого весь цикл трикарбоновых кислот (ЦТК) вследствие инактивации коэнзима А. Фунгитоксичные хелатирующие агенты ингибируют металлзависимые ферменты, связывая металлы-кофакторы. Так, железозависимый фермент ЦТК аконитаза ингибируется такими хелатирующими фунгицидами, как набам, манеб, цирам, дитиокарбамат меди. Фербам, являющийся тоже хелатным агентом, но солью железа, не ингибирует аконитазу, как и следовало ожидать, хотя и представляет собой самый стабильный дитиокарбамат с хорошо выраженными хелатирующими свойствами.

Биоциды могут ингибировать ферментативные реакции, взаимодействуя с субстратами, делая их нереакционноспособными. Метиллол-меламин, используемый для отделки хлопчатобумажных тканей, взаимодействует с волокнами клетчатки, предотвращает доступ фермента целлюлазы, в результате придает ткани грибостойкость. Фенилгидразины и их производные препятствуют спорообразованию у грибов. Объясняется это тем, что фенилгидразины активно реагируют с α -кетосоединениями, в том числе с глиоксиловой кислотой, после чего она становится неспособной вступать в соответствующие ферментативные процессы, что необходимо для спорообразования.

Следует, наконец, иметь в виду, что не всегда и не все ферменты ингибируются биоцидами, в ряде случаев они могут вызвать и активацию их. Так, многие неорганические соли в больших концентрациях ингибируют ферменты, а в малых, наоборот, активируют. Особенно характерна возможность активации ферментов при действии биоцидов не на очищенный фермент, а на живые клетки. Отмирание микробной клетки, вызванное биоцидом, обычно сопровождается распадом многих веществ цитоплазмы, активацией гидролаз и возникновением усиленного «патологического дыхания», при котором активируются ферменты дыхания.

Для бактерий очень характерно явление субстратного индуцирования ферментов. Так, пенициллин в достаточно малых концентрациях индуцирует синтез фермента пенициллиназы, которая разрушает этот антибиотик. В таких случаях индукция ферментов биоцидом представляет собой защитную реакцию бактерий.

У *Sclerotinia* сублетальные концентрации фунгицидов каптана, о-фенилфенола, сульфата меди повышают активность ряда ферментов (гексокиназы, альдолазы, цитохромоксидазы). Механизм этого явления полностью не исследован, не исключена возможность того, что перечисленные фунгициды в большей мере действуют на внутриклеточные ингибиторы ферментов, чем на сами ферменты.

Действие биоцидов на структуру и свойства мембран. Многие биоциды (антибиотики, поверхностно-активные соединения, ртуть-органические соединения и фенолы) подавляют жизнедеятельность микроорганизмов в результате нарушения структуры и функционирования биомембран и клеточных стенок. Фунгицидное действие антибиотиков группы полиоксенов заключается в конкурентном ингибировании синтеза хитина из ацетилглюкозамина. Полиоксены более активны в отношении мицелиальных грибов, чем дрожжевых форм. Цитоплазматические мембраны микроорганизмов играют двойную роль. Они, во-первых, образуют осмотический барьер на пути свободной диффузии малых молекул, а во-вторых, контролируют внутриклеточные концентрации метаболитов с помощью специфических механизмов переноса. Нарушение любой из этих функций приводит к тому, что клетка не может функционировать как эффективная метаболическая единица. Барьерная роль мембраны основана на особой организации составляющих ее липопротеидных слоев. Целостность мембраны зависит главным образом от взаимодействия липидов и белков. Нарушение или диссоциация липопротеидных структур приводит к утечке продуктов через мембрану и к утрате избирательной проницаемости. Поэтому любое вещество, способное влиять на взаимодействия липидов и белков, будет обладать антимикробным действием. Для функционирования и активности клеток очень важен транспорт ионов через мембраны, причем градиент концентрации ионов обуславливает движущую силу для концентрирования определенных метаболитов в клетке. Такие механизмы транспорта можно инактивировать, если удастся сделать мембрану проницаемой для ионов или если их транслокацию и транспорт других веществ удастся разобщить. В настоящее время

препараты, действующие на цитоплазматическую мембрану, можно разделить на три класса: 1) вещества, вызывающие дезорганизацию структуры мембраны; 2) вещества, ингибирующие связанный с мембраной белок, участвующий в процессах транспорта; 3) вещества, вызывающие специфические изменения проницаемости для определенных ионов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ГРУПП БИОЦИДОВ

В настоящее время описано несколько тысяч биоцидов, относящихся к различным классам химических соединений.

Неорганические биоциды. Ряд катионов и прежде всего катионов тяжелых металлов, а также некоторые анионы обладают токсическим действием на живые организмы. Например, токсическими концентрациями Ag^+ , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Tl^+ для грибов рода *Aspergillus* являются 10^{-4} — 10^{-6} моль. Менее чувствительны они к катионам Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Al^{3+} , Cr^{2+} (10^{-3} моль), щелочных и щелочно-земельных металлов (10^{-1} — 10^{-2} моль). Наиболее токсичны из анионов HAsO_4^{-2} (10^{-3} моль) и CrO_4^{-2} (10^{-4} моль). Есть некоторая корреляция фунгитоксичности металлов с их положением в периодической системе: внутри одной группы биоцидность возрастает с увеличением массы атома. По степени фунгицидности основные металлы можно разделить на три группы: наиболее токсичные — серебро, ртуть, медь; средняя токсичность — кадмий, хром, свинец, кобальт, цинк; наименьшая токсичность — железо, кальций. Оказалось, что степень токсичности коррелирует с электроотрицательностью перечисленных металлов и, в соответствии с этим, со стабильностью их хелатов и нерастворимостью сульфидов. Ионы специфически и неспецифически реагируют с различными функциональными группами белков, что приводит к нарушению их структурной организации и функционирования. К сульфгидрильным группам большое сродство имеют катионы ртути, серебра. Соединяясь с сульфгидрильными группами активного центра тиоловых ферментов, они необратимо их ингибируют и нарушают обмен веществ клетки. Ионы Fe^{3+} взаимодействуют с активным центром РНК-азы дрожжей, являясь конкурентным ингибитором фермента. Ряд катионов (Hg^{2+} , Cd^{2+} , As^{3+} , Cr^{6+} , Ag^+ и др.) подавляет рост клеток, вызывая деградацию ДНК.

Действие солей зависит от активной реакции среды. Так, мицелий *Penicillium nigricans* относительно устойчив к солям тяжелых металлов (Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+}) при кислых значениях pH, в то время как при нейтральной реакции среды чувствительность к ним повышается. По-видимому, это связано с действием pH на характер диссоциации белков и проницаемость мембран гриба для катионов.

Оловоорганические соединения. Высокой антимикробной активностью обладают триалкиловохлориды. Есть указания, что наибольший эффект они оказывают на мицелиальные грибы и меньший на бактерии и дрожжи. Токсичность этого типа соединений возрастает

тает с увеличением числа атомов углерода в цепи. Это показано на примере ряда: триметил-, триэтил-, трипропил- и трибутилоловохлорид; ЭДТА усиливает антимикробный эффект триалкилоловохлоридов. Биоцидными свойствами обладают и полимерные оловоорганические соединения, представляющие значительно меньшую опасность для окружающей среды, нежели известные низкомолекулярные. Биологическая активность показана для сополимеров на основе бутилметакрилата и малеинового ангидрида с привитыми биоцидными оловоорганическими группами, *n*-триорганостаннилимидов, соединений типа R_3SnX , где R — алкильный или арильный радикал, X — электроотрицательная группа.

Установлено, что токсичность оловоорганических соединений, в частности трифенилбутилолова, объясняется их ингибирующим действием на транспорт электронов при окислительном фосфорилировании. Это происходит благодаря влиянию указанных соединений на мембранно-связанные компоненты АТФаз. Кроме того, трифенилбутилолово является ионофором, осуществляющим обмен между анионами. Имеются также сведения, что соединения олова тормозят синтез клеточной стенки мицелиальных грибов.

Ртутьорганические соединения. Механизмы действия ртутиорганических соединений на метаболизм организмов разнообразны. Благодаря наличию в них катиона тяжелого металла, они блокируют тиогруппы ферментов, денатурируют белки. Так, ртутьборфенил подавляет дыхание, синтез белка, РНК, ДНК в результате связывания с различными белками. Фенилмеркурацетат влияет на мембранную систему клеток грибов и вызывает ряд цитологических изменений. Предполагается также и ингибирование ферментативных процессов, связанных с образованием меланина. Под влиянием органических соединений ртути показано уменьшение проницаемости цитоплазматических мембран для белков. По данным А. А. Анисимова, В. Ф. Смирнова и др., торможение биосинтеза белка в мицелии *A. niger* наблюдается в присутствии мертиолата. Наиболее вероятным является действие мертиолата на процесс трансляции. Мертиолат существенно снижает активность дегидрогеназ, катализирующих реакции цикла Кребса (МДГ, СДГ, ИДГ), что приводит к резкому падению количества органических кислот в культуральной жидкости, а также изменению качественного состава органических кислот гриба *A. niger*. Мертиолат подавляет также активность ферментов и других этапов дыхания — терминальных оксидоредуктаз (каталазу, пероксидазу, цитохромоксидазу).

Хлорорганические соединения. Многие хлорорганические соединения обладают токсическим эффектом благодаря их влиянию на процессы дыхания. Подавление активности дыхательных процессов у гриба *A. niger* отмечено при внесении в культуральную жидкость монохлорацетаминоканифоли, 4,5,6-трихлорбензоксазолинона. Показано, что монохлорацетаминоканифоль ингибирует один из ферментов гликолиза — альдолазу, а также ключевой фермент пентозофосфатного пути дыхания — глюкозо-6-фосфатдегидрогеназу. Снижение потребления кислорода, активность цитохромоксида-

зы вызывает полифункциональное хлорорганическое соединение — 1,4-дихлор-2,5-диметоксибензол.

Подавление активности гидролитических ферментов (целлюлазы, амилазы), принимающих участие в превращении питательных веществ, отмечено при действии гексахлорциклогексана на мицелиальные грибы. Дихлорпропионовая кислота вызывает торможение синтеза белка как на стадии включения аминокислот в белки, так и на более ранних этапах — при синтезе аминокислот, в результате угнетения процессов переаминирования. Снижение содержания белка в мицелии гриба *A. niger* имело место и при действии 4, 5, 6-трихлорбензоксазолинона. Высказывается предположение, что точка приложения данного фунгицида близка к таковой антибиотика пуромидина, роль которого заключается в нарушении роста полипептидной цепи вследствие сходства его структуры с концевым участком АМФ в аминоксил-тРНК. Однако отмечается, что конкретный механизм действия 4,5,6-трихлорбензоксазолинона на этой фазе синтеза белка иной, чем у пуромидина, так как это вещество не имеет сходства с тРНК.

Хлор- и бромсодержащие углеводороды в концентрации 0,001—1,0%, как правило, не проявляют антимикробное действие, даже полигалогенуглеводороды. Наиболее активен из них 1,2-дибромгексахлоргексан, подавляющий рост грибов и бактерий в концентрации 0,01—0,001%. Углеводороды, содержащие одновременно как хлор, так и бром, более активны, чем аналогичные только хлор- или только бромсодержащие. Предельные хлоруглеводороды более активны по отношению к бактериям, чем к микромицетам.

При переходе от галогеналканов к галогеналкенам наблюдается усиление биоцидности. Особенно высокими антисептическими свойствами обладают полигалогенбутадienes с сопряженными двойными связями. Введение дополнительно нитрогруппы усиливает антимикробность. Для защиты материалов от повреждения плесневыми грибами эти соединения можно вводить в 10—100 раз меньшей концентрации, чем при использовании пентахлорфенола или оксихинолята меди. Непредельные хлор- и бромуглеводороды угнетают дыхание, биосинтез белка, влияют на проницаемость мембран микромицетов. Резистентность у грибов к указанным соединениям развивается очень медленно.

Фторсодержащие соединения. Антисептические свойства фторсодержащих соединений связаны в основном с ингибированием фтором многих ферментов. Таким действием обладают как анионы фтора минеральных солей, так и фторорганические соединения. Особенно сильное ингибирующее влияние фтор оказывает на металлоферменты (они содержат прочно связанный ион металла) и металлоактивируемые ферменты (для проявления максимальной каталитической активности требуется присутствие ионов металлов). Механизм ингибирования в этих случаях связан со способностью фтора образовывать прочные комплексы с металлами и таким образом выводить их из процесса катализа. Наиболее прочные комплексы фтор образует с катионами магния, несколько менее — же-

леза, марганца. Поэтому магнийзависимые ферменты очень чувствительны к фтору. Поливалентные органические анионы (например, некоторые аминокислоты) защищают ферменты от воздействия фтора.

Сильным токсическим действием обладает фторцитрат, блокирующий цикл трикарбоновых кислот на стадии аконитатгидратазы.

Примерами фторсодержащих фунгицидов могут быть фтординитробензолы, используемые для защиты от биоповреждений ПВА-материалов, кож и других материалов. Фунгицидными свойствами обладают также фтористый натрий, калий, аммоний.

Четвертичные аммониевые соединения (катапин, этоний, цетримид-цетилтриметиламмоний бромистый и др.). Действуют в основном как ПАВ, являются агентами, вызывающими денатурацию белка и нарушающими целостность клеточных мембран. Изменение структуры цитоплазматической мембраны у мицелиальных грибов под влиянием ПАВ показано с помощью метода спиновой метки. Зафиксирован также сдвиг в осмотическом равновесии клеток вследствие структурных переходов в мембранах.

В опытах с ^{32}P установлено, что при постепенном повышении концентрации цетримида утрата клетками жизнеспособности хорошо коррелирует со степенью утечки из них радиоактивного материала. Это хорошо подтверждает механизм действия цетримида через нарушение структуры мембран. Аналогичные результаты получены с другим поверхностно-активным биоцидом — хлоргексидином.

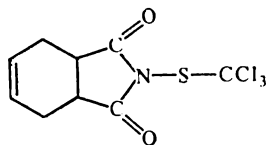
Фенолы. Одним из механизмов токсического действия соединений фенольной структуры является нарушение работы ферментативных систем цепи переноса электронов, в результате чего снижается интенсивность дыхания. В частности, это относится к ряду галлоид- и нитрозамещенных фенолов, которые могут служить проводниками протонов («протонофорами») в биомембранах и выступать, следовательно, как агенты, разобщающие дыхание и фосфорилирование (например, 2,4-динитрофенол). Снижение интенсивности дыхания плесневых грибов показано, например, при действии пентахлорфенола, подавление активности пиридиновых дегидрогеназ — под влиянием гексахлорофена. Однако в обоих случаях не было установлено, являлся ли указанный эффект результатом действия фенольных групп или хлора. При действии на бактериальные клетки (*St. aureus*) относительно небольшие концентрации гексахлорофена уже подавляют поглощение O_2 . Это дает основание считать ингибирование дыхания одним из первичных механизмов действия гексахлорофена. При более высоких концентрациях нарушается проницаемость плазматической мембраны, подавляется гликолиз. Фенолы также способны образовывать нерастворимые комплексные соединения с полисахаридами клеточной стенки, нарушая ее свойства.

Хиноны. Их биоцидность связывают с высокой реакционной способностью. Взаимодействуя с клеточными метаболитами, хиноны блокируют их, выключают из обменных процессов. Основными ми-

шениями их действия являются, видимо, аминокруппы и тиолы. Ингибируя тиоловые и аминоксодержащие ферменты, хиноны в первую очередь нарушают дыхательные системы, разобщают окислительное фосфорилирование, инактивируют коэнзим А. Заместители вблизи кетогрупп увеличивают биоцидность, если только они не замедляют проникновение данного хинона через клеточную оболочку (как, например, алкилы). Фунгитоксичность уменьшается с изменением ядра хинона в следующем порядке: нафтохинон > фенантрахинон > бензохинон > антрахинон. Галоидирование увеличивает биоцидность в такой последовательности: J < Br < Cl.

Дитиокарбаматы. Широко распространенные и эффективные фунгициды. Известны два их ряда: диалкил- и моноалкил-. Они отличаются по своей биологической активности, которая зависит также от длины углеродной цепи. Максимальная токсичность у диметилпроизводных, с увеличением длины цепи алкильных групп токсичность уменьшается. Сульфиды и соли металлов более фунгитоксичны, чем эфиры дитиокарбаминовой кислоты. Предполагают, что поступлению дитиокарбаматов в клетку гриба способствует образование ими хелата меди. Фунгициды этой группы (цирам, фербам, ТМТД — тетраметилтиурамдисульфид) образуют комплексы с металлами и вследствие этого являются сильными ингибиторами металлсодержащих ферментов. Дитиокарбаматы ингибируют также сульфгидрильные группы ферментов дыхания, причем токсичность такого типа соединений связывается не только с действием дитиокарбаматного иона, но и с продуктами распада этих фунгицидов в мицелии грибов: вторичных аминов, этилентииомочевины.

Фталимиды (каптан, фталан). Действующее вещество каптана — N-трихлорметилтиотетрагидрофталимид:



Фунгицидность каптана обусловлена ингибированием ферментов, содержащих сульфгидрильные группы. Установлено, что токсическое действие каптана обусловлено присутствием в нем —S—CCl₃-группы. Она не только способствует проникновению каптана в клетку, но и атакует ее жизненно важные компоненты. В результате взаимодействия каптана с сульфгидрильными группами ферментов и других белков образуется сильно токсичный тиофосген. Ингибируя ферменты, каптан вызывает нарушение процессов обмена веществ, в частности подавляет эндогенное дыхание спор грибов.

Антибиотики. Имеются попытки применения антибиотиков в качестве средств защиты от биоповреждений. Положительные результаты получены при введении в лакокрасочные покрытия нистатина и гризеофульвина, в эпоксидный компаунд — стрептомици-

на. Молекулярные механизмы действия различных антибиотиков весьма разнообразны. Они могут ингибировать энергетический обмен, функционирование мембран, синтез белка, обмен нуклеиновых кислот, синтез пептидогликанов клеточной стенки микроорганизмов, действовать как поверхностно-активные вещества. Бицидный эффект стрептомицина связывается с подавлением биосинтеза белка, что наблюдается в результате специфического взаимодействия с малыми субчастицами рибосом и предотвращения эффективного связывания аминоацил-РНК. Многие аминогликозиды (в том числе стрептомицин) нарушают биосинтез белков, вызывая ошибочное считывание кода синтеза. Гризеофульвин ингибирует синтез иРНК на ДНК-матрице; полиеновые антибиотики, к которым относится нистатин, нарушают проницаемость клеточных мембран, содержащих стеролы (дрожжи, мицелиальные грибы).

Азостероиды. Гидроксимин, метоксимин нарушают структуру мембран, угнетают транспорт в клетки предшественников, необходимых для синтеза таких макромолекул, как белки, нуклеиновые кислоты (тимидина, уридина, лейцина). Синтетические аналоги азостероидов ингибируют глюкозо-6-фосфатдегидрогеназу, окисление глутамата. Азостероиды действуют также или непосредственно на электронтранспортную систему, или косвенно, влияя на мембраны и тем самым нарушая электронтранспортные процессы.

Антимикробное действие азостероидов усиливается рядом антибиотиков — хлорамфениколом, актиномицином D, полимиксином и циркулином, ванкомицином, в то время как пенициллин и эритромицин не дают синергического эффекта. Предполагается, что азостероид и антибиотик формируют молекулярный комплекс, который приводит к изменению биологической активности азостероидов.

Другие органические биоциды. N-тридецил-2,6-диметилморфолин затормаживает синтез полисахарида клеточной стенки грибов — хитина, ингибируя активность фермента хитинсинтетазы и тем самым подавляя включение в хитин меченого УДФ-ацетилглюкозамина. Кроме того, этот биоцид ингибирует дыхание грибов, снижает активность целлюлазы, полигалактуроназы. Первичное действие фунгицида имазалила заключается в ингибировании биосинтеза эргостерина. Механизм биоцидного действия азотсодержащих гетероциклических фунгицидов трифторина и диклобутразола также связан с ингибированием ими синтеза стеролов — важных компонентов мембран микромицетов. Сильное ингибирование дыхательной цепи вызывают малеимиды вследствие взаимодействия их с сульфгидрильными группами ферментов. Показано влияние производных мочевины на наследственный аппарат клетки. Так, фенилдиалкилмочевина изменяет частоту встречаемости пиримидиновых изоплитов при одновременном снижении содержания гекса-, пента- и высших пиримидиновых олигонуклеотидов.

Ингибирование роста дрожжевых клеток в присутствии бензилидазола объясняется конкуренцией за фосфорибозилпирофосфат и тем самым блокированием синтеза *de novo* пуринов и пиримидинов. Такой антимикробный агент, как фенилиндол, является мемб-

раноактивным веществом, он влияет на содержание фосфолипидов и свободных жирных кислот в мембранах.

Фуралаксин, металаксил и офурейс (системные фунгициды, используемые в основном для борьбы с грибными болезнями растений) не влияют на дыхание, синтез клеточных стенок мицелия и проницаемость мембран, но тормозят деление ядер, ингибируют синтез белков и особенно образование РНК. Последнее считают первичным механизмом действия указанных фунгицидов.

Пропиконазол ([2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-илметил]-1,2,4-триазол) подавляет дыхание, синтез нуклеиновых кислот, белков и липидов у грибов рода *Ustilago*. Наиболее чувствителен к этому фунгициду процесс синтеза стерола и его производных.

Карбоновые кислоты обычно обладают невысокой противомикробной активностью, даже при введении галогенов, нитро- и аминок групп. Относительно более активна из них трихлоркротоновая. У сложных эфиров биоцидность сильнее выражена, чем у соответствующих кислот. Увеличение спиртового радикала, а также изоствроение последнего приводит к снижению антимикробности сложных эфиров. Эфиры галогенсодержащих кислот более активны, чем эфиры без галогенов. Особенно активны среди этого класса соединений метиловый и этиловый эфиры трихлоркротоновой и нитрохлоркротоновой кислот, эфиры моно- и диброммалоновых кислот. Такие соединения обладают широким антимикробным спектром в концентрации 0,001—0,0001 %.

Своеобразными биоцидами являются структурные аналоги метаболитов. К ним относятся все сульфаниламидные препараты, многие антибиотики (оксамицин, пурамицин и др.), фунгицид 2-гептодецил-2-имидазолин, имеющий структурное сходство с гуанином и ксантином. Некоторые производные бензимидазолона, обладающие фунгицидным действием, являются антагонистами биотина. Действие их на метаболические процессы очень специфично. Сходства структурных аналогов метаболитов с истинными метаболитами может быть достаточно, чтобы аналог вступил в цепь реакций обмена веществ микроорганизма вместо самого метаболита. Однако различия между аналогами и настоящими метаболитами не позволяют первым вступать в дальнейшие реакции, и цепь биохимических реакций на этом прерывается, микроорганизм вследствие этого гибнет.

В последнее время при поиске и синтезе новых фунгицидов, бактерицидов стали широко применяться методы математического прогнозирования, «внеэкспериментальных» биологических испытаний («расчетный» скрининг). Объясняется это тем, что химический синтез во второй половине XX в. дает ежегодно многие десятки тысяч новых соединений. Испытывать все их на возможные виды биологической активности становится экономически невыгодно и в целом малоэффективно. Внеэкспериментальные методы дают возможность провести отсев малоперспективных соединений и отбор биологически активных еще до их синтеза. При этом проводят

сравнение структуры планируемого к синтезу соединения со структурой известных биоцидов, хранящейся в памяти ЭВМ. Определяют также вклад в величину биоцидности различных заместителей в данном ряду соединений, рассматривают количественную зависимость биологической активности от физико-химических и структурных параметров. Особенно перспективно привлечение методов квантовой химии для решения этих задач. Квантово-химические индексы могут непосредственно использоваться в качестве переменных в уравнениях, связывающих структуру с биологической активностью, а также при расчете предпочтительных конформаций биоцидов. Большой интерес представляет квантово-химическое моделирование взаимодействий малой молекулы биоцида с рецепторами.

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ПОВРЕЖДАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ

В настоящее время трудно найти группу материалов, на которую живые организмы не оказывают разрушающего воздействия или, по меньшей мере, не изменяют их свойств и внешнего вида.

При классификации биологических повреждений материалы подразделяют по морфологическим признакам и изменению свойств.

К группе морфологических признаков проявления биоповреждений относят:

- обрастание поверхности мицелием грибов или колониями бактерий, появление окрашенных пятен;

- появление язв, каверн и трещин на поверхности материала;

- потеря части материала вследствие его повреждения, например, грызунами, термитами, молью;

- изменение структуры или состояния материала, например расслоение водо-масляных эмульсий под действием бактерий, желирование топлив;

- фибриляция волокнистых материалов — волокон, тканей, например шерсти под действием микроорганизмов и др.

К группе признаков биоповреждений по изменению свойств материалов относят:

- изменение физико-механических свойств материалов, например потеря прочности древесины, резины, пластиков под действием микроорганизмов или их метаболитов; набухание резины, потеря адгезии лакокрасочных покрытий;

- ухудшение электрофизических свойств, например снижение электроизоляционных свойств материалов;

- изменение оптических свойств, например, опалесценция и потеря прозрачности стекол оптических приборов, протравленных метаболитами грибов;

— изменение химических свойств материалов в результате окисления или гидролиза пластификаторов в пластиках, целлюлозы в древесине;

— изменение органолептических свойств, например появление дурного запаха при гниении смазочно-охлаждающих жидкостей или других материалов, появление слизи на твердых поверхностях и т. п.

Для изучения биостойкости материалов и определения биоцидной активности химических соединений применяются различные методы. В большинстве своем они являются модификацией нескольких основных методов, которые по критерию оценки защитной способности можно отнести к двум группам. В первой группе критерием является оценка сохранения физико-химических показателей материала под действием агентов биоповреждений, во второй — задержка и подавление роста микроорганизмов на твердой поверхности (образование зоны биоцидного действия) или в растворе (жидкой среде).

Один из достоверных и распространенных способов исследования биостойкости текстильных материалов, пластиков, резин и других неметаллических материалов — это почвенный метод. По ГОСТ 9.060—75 он предназначен для испытания биостойкости тканей в лабораторных условиях. Но его можно приспособить и для испытания других материалов.

Для проведения почвенных испытаний готовят почву следующего состава: песок, конский навоз, садовая земля в соотношении 1 : 1 : 1 с рН 6—7,5. Определяют коэффициент биологической активности почвы a , который должен находиться в пределах 0,65—1,5, путем сравнения активности приготовленной почвы с активностью эталонной. Эталонной активностью считают активность почвы, в которой прочность образца непропитанной хлопчатобумажной ткани массой 100—150 г/м² после испытания в течение 120 ч снижается на 50%. Коэффициент биологической активности рассчитывают по формуле: $a = T_a / T_э$, где T_a — время контакта с испытуемой почвой, в течение которого разрывная нагрузка ткани уменьшилась на 50%; $T_э$ — время контакта с эталонной почвой, в течение которого разрывная нагрузка ткани уменьшилась на 50% (в нашем случае 120 ч).

На образец испытуемого материала наносят слой приготовленной почвы толщиной 25 см с влажностью 28% и помещают во влажную камеру на определенный промежуток времени, где выдерживают при 24—26°. Затем определяют прочность на разрыв.

Стандартный почвенный метод имеет ряд преимуществ перед другими, требующими выдерживания образцов в почве от 2 недель до нескольких месяцев. Полученные при таких испытаниях результаты имеют большой разброс и плохую воспроизводимость, поэтому их лучше использовать для определения биостойкости какой-то определенной партии, а для сравнения с результатами испытаний, полученными другими исследователями, надо использовать стандартный метод.

Для определения биостойкости или биоцидного действия в *жидкой среде* используют стандартный набор микроорганизмов или специально выделенные с поврежденных материалов штаммы микроорганизмов-биодеструкторов. В пробирку помещают 1 мл суспензии спор микроорганизмов, содержащей около 0,5 млн. спор (приготавливается по стандарту). В качестве питательной среды используют мясоептонный бульон с 1% глюкозы, рН 6,8. Вносят образец испытуемого материала и помещают в термостат при 28°. Через 48 ч регистрируют фунгистатический или фунгицидный эффект.

Для проведения испытаний на *плотной (твердой) среде* в чашки Петри заливают сусло-агар, после застывания в нем делают лунку, в которую помещают круглый образец испытуемого материала. Сверху наливают еще один слой сусло-агара, содержащего 2 млн. кл. тест-культуры. Выдерживают в термостате 4 сут и измеряют размеры зоны задержки роста тест-культуры.

Испытания биостойкости льняных тканей проводят в жидкой среде с использованием обогащенной культуры термофильных целлюлозных бактерий. На дно стеклянного аквариума укладывают образцы ткани 25×7 см, закрепленные на стеклянных рамках, наливают питательную среду и вводят обогащенную культуру термофильных бактерий. Выдерживают 18 ч при температуре 37+1°, затем 2—3 сут при 60°. Контрольные образцы в этих условиях полностью разрушаются. Испытания в течение 4 сут в жидкой среде в этих условиях эквивалентны 15 сут почвенных испытаний.

Испытания на стойкость к плесневым грибам описаны в ГОСТ 9.048—75. В стерильные чашки Петри наливают питательную среду, после застывания на поверхность помещают испытуемый образец и обрабатывают (инокулируют) суспензией опор набора текст-культур (или одной культурой), выдерживают в термостате 29+1° в течение 14 сут. Результаты испытаний практически определяются на 6 сут. Образцы осматривают визуально и оценивают грибостойкость в баллах по степени обрастания — отсутствие роста грибов — 0 баллов, видимое невооруженным глазом зарастание мицелием 25% поверхности образца — 5 баллов.

Для испытания антисептических свойств тканей бытового назначения в качестве тест-культур используют следующий набор бактерий: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bus. subt.*, а также гриб вида *Aspergillus niger*. Испытуемые образцы материала 2×2 см помещают в чашки Петри, приливают привитую питательную среду при 45° так, чтобы над образцом был слой толщиной 1—2 мм. После застывания чашки переворачивают и ставят в термостат при температуре 22—25° для грибов и 32—37° для бактерий. Регистрируют интенсивность роста бактерий через 3 сут, грибов — через 6 сут. Оценивают рост культур в баллах: 1 балл — над образцом интенсивность роста такая же, как и вокруг образца; 2 балла — отдельные проросшие колонии над образцом, 3 балла — над образцом рост культур полностью подавлен; 4 балла — вокруг образца имеется зона задержки роста микроорганизмов не более 2 мм; 5 баллов — вокруг образца имеется зона задержки роста более 2 мм.

Пластики, основу которых составляют синтетические полимерные материалы, как правило, сравнительно стойки к разрушению экзоферментами и другими метаболитами микроорганизмов. Полимерная цепь макромолекулы синтетических высокомолекулярных соединений слишком велика и прочна, чтобы непосредственно усваиваться бактериями или грибами. Поэтому во многих случаях пластики и другие материалы на основе синтетических высокомолекулярных соединений являются более стойкими к микробиологическим повреждениям, чем материалы, содержащие природные высокомолекулярные соединения — целлюлозу и лигнин, составляющие основу материалов древесины, коллаген, из которого состоит в основном натуральная кожа, и т. д.

В состав пластиков, помимо их основы — связующих полимерных соединений, входят низкомолекулярные добавки — пластификаторы, наполнители, стабилизаторы и др. Среди этих добавок встречаются вещества с различной микробиологической стойкостью. Из-за биостойкости таких добавок снижается биостойкость материала в целом. Поэтому полимерные пластики, применяемые в различных отраслях техники и в повседневной жизни, нередко повреждаются микроорганизмами. Повреждения могут носить различный характер — изменение окраски, прочности, электрофизических и других свойств. Если многие пластики и не разрушаются полностью микроорганизмами, они могут ухудшать свои эксплуатационные и товарные свойства и терять практическую ценность.

Основными микроорганизмами, повреждающими пластики в обычных условиях эксплуатации, являются микроскопические грибы. Повреждения пластиков происходят в результате разрастания колоний грибов на поверхности изделия, проникновения мицелия в толщу материала через микротрещины, а также вследствие агрессивного воздействия ферментов и органических кислот — метаболитов грибов на отдельные компоненты пластиков. Скопление мицелия на поверхности деталей из пластиков, входящих в состав радиоэлектронных и других приборов, может вызвать нарушение работы всего прибора в результате изменения влажности и электрического сопротивления в узлах приборов.

Бактерии реже повреждают пластики, но действие их может быть коварно. В отдельных случаях их присутствие трудно обнаружить невооруженным глазом, тем более что повреждение материалов чаще бывает под землей или под водой. О повреждении можно судить по появлению постороннего запаха, окраски, слизи и т. п.

Водоросли на поверхности пластиков появляются в условиях повышенной влажности или при непосредственном контакте с водой (плавательные бассейны, пластмассовые корпуса и детали подводной части морских и речных судов, подводные кабели, тросы, буи и т. д.). Они не разрушают пластики, но портят внешний вид, создают помехи и сами являются хорошим субстратом для поселения

и развития бактерий и грибов, разрушающих пластификаторы и другие ингредиенты пластиков.

Биологические повреждения пластиков насекомыми и грызунами проявляются в прямом механическом разрушении отдельных деталей, защитных покрытий, упаковочных материалов. Разрушение пластмассовой упаковки и затем поселение и размножение насекомых и грызунов может происходить в труднодоступных для человека узлах приборов и механизмов, которые могут служить для них своеобразной безопасной экологической нишей. Скопление животных и их метаболитов в ответственных местах электрических приборов неоднократно бывало причиной замыкания и других нарушений работы приборов.

Биоповреждения пластиков, как и других материалов, как правило, происходят одновременно с их старением под действием внешних физических и химических факторов окружающей среды (ультрафиолет, вода, перепады температур и т. д.). Оба процесса — биоповреждения и старение дополняют и усугубляют друг друга.

Биоповреждения основных компонентов пластиков. Основу пластиков составляют полимерные связующие, в качестве которых используют полимерные смолы. По типу полимерных смол называют и сами пластики — термореактивные или термопластичные (в зависимости от способа их отверждения при получении материала) и полиэтиленовые, поливинилхлоридные, полиамидные и др. (в зависимости от химической структуры полимера).

Полимерные смолы имеют различную биостойкость в зависимости от химической структуры макромолекулы, длины полимерной цепи, наличия боковых разветвлений и др. Общим правилом является повышение устойчивости к микробиологическому повреждению полимеров по мере роста длины цепи макромолекул. При прочих равных условиях линейные карбоцепные полимеры менее биостойкие, чем разветвленные, или гетероцепные.

К числу полимерных смол, обладающих повышенной стойкостью к повреждению плесневыми грибами, относят полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид (жесткий), полиамид, полиэтилентерефталат. Менее грибостойки в сравнительных испытаниях — поливинилацетат, поливиниловый спирт, хлорсульфированный полиэтилен и др.

Вторым, после полимерных смол, важным компонентом пластиков являются пластификаторы. Как правило, пластификаторами служат сложные эфиры дикарбоновых и поликарбоновых алифатических и ароматических кислот. Содержание пластификатора может составлять 30—50% от массы пластика, поэтому от его биостойкости в большой мере зависит и биостойкость всего материала. При сравнении стойкости к поражению плесневыми грибами наиболее распространенных пластификаторов — эфиров фталевой и адипиновой кислот — более стойкими являются эфиры фталевой кислоты — ароматической, чем эфиры адипиновой — алифатической дикарбоновой кислоты. Низкой грибостойкостью обладают эфиры другой алифатической кислоты — себациновой и др.

Третий важный компонент пластиков — наполнители, которые вводят в композиции для придания соответствующих прочностных свойств. Наполнители из природных органических продуктов микробиологически неустойчивы. К их числу относятся древесная мука, бумага, волокна и ткани. Однако низкая грибоустойчивость их может не оказать решающего влияния на биостойкость, например, у древесных пластиков. В то же время такие биостойкие наполнители, как стекловолокно и асбест, не гарантируют биостойкости стеклопластиков и асбопластиков, хотя, очевидно, не ухудшают этих свойств.

Биоповреждения отдельных представителей пластиков. Биоповреждения пластиков чаще вызывают микроскопические грибы родов *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium* и др., большинство которых вызывают пигментацию светлоокрашенных пластиков, обесцвечивание, потускнение, реже — изъязвление поверхности. Повреждения иногда носят поверхностный характер и проявляются только в обрастании мицелием, который может быть удален и не окажет заметного влияния на рабочие характеристики материала или изделия в целом. В других случаях биоповреждения могут носить более глубокий характер, когда наряду с изменением внешнего вида меняются физико-химические, физико-механические и другие свойства материалов — изменение вязкости, прочности, твердости, электроизоляционных и других свойств.

Характер биоповреждений пластифицированных поливинилхлоридных пластиков зависит от их состава, способов производства и переработки. Жесткий поливинилхлорид более стоек к обрастанию и повреждению грибами и бактериями. Трубы из жесткого поливинилхлорида хотя и обрастают плесневыми грибами, но не теряют прочностных свойств при эксплуатации в почве более 10 лет.

Искусственные кожи из поливинилхлоридного пластика на тканевой основе должны защищаться фунгицидами, если они предназначены для использования в условиях повышенной влажности и температуры. Это относится к тропическим районам, в которых поражаются микроорганизмами, например, сиденья и внутренняя обшивка кабин автомобилей, обшитые искусственной кожей без специальной антисептической обработки или без введения в состав рецептуры пластика или тканевой основы фунгицидных добавок.

Трубы, пленки, пресс-материалы и изделия из полиэтиленовых пластиков, как правило, обладают высокой биостойкостью. Исключение составляет полиэтилен с молекулярной массой менее 25 000. Изделия из низкомолекулярного полиэтилена могут обрастать и повреждаться механически плесневыми грибами в течение нескольких месяцев эксплуатации, особенно в почве. Трубы и пленки из полиэтилена средней и высокой плотности обладают хорошей биостойкостью даже в почве и морской воде.

Полиамидные пластики, нейлоновые, капроновые и другие обычно устойчивы к микробиологическим повреждениям. Загрязнения органическими веществами их поверхности может вызвать обрас-

тание плесневыми грибами, однако это не ухудшит работоспособности деталей и изделий (штулок, шестерен, прокладок и т. п.).

На уровне полиамидных пластиков по микробиологической стойкости находятся полистироловые, полиакрилатные, поликарбонатные и другие пластики. Менее биостойкими являются полиуретановые пластики и защитные покрытия. Известны случаи отслаивания и разрушения полиуретановых защитных покрытий топливных баков самолетов из алюминиевых сплавов. Неустойчивы к повреждению и обрастанию также изделия и покрытия из полиуретанов, которые должны использоваться в морской воде.

Защита пластиков от биоповреждений осуществляется различными путями — использованием в составе композиционных рецептур компонентов синтетических материалов, обладающих естественной высокой биостойкостью, введением в композиции пластиков добавок биоцидов, обработкой поверхности материалов биоцидными препаратами, применением физических методов обеззараживания — ультрафиолета, ультразвука, термообработки, гамма-облучения и пр.

Среди биоцидов для пластиков в течение ряда лет применяются такие вещества, как салициланилид, 8-оксихинолят меди, 2-оксидифенил, 4-нитрофенол, пентахлорфенолят натрия и др. В последние годы получили известность такие биоциды, как трилан (4,5-трихлорбензоксазолинон), цимид (циклогексимилид дихлормалеиновой кислоты), некоторые мышьяк- и оловоорганические соединения.

Трилан, цимид и эпоксар (мышьяксодержащий препарат) хорошо зарекомендовали себя в качестве биоцидов для получения грибоустойчивых поливинилхлоридных пленок и искусственных кож технического назначения, используемых в изделиях, поставляемых в тропики. Например, добавка 1—2% цимида к пленке искусственной кожи из поливинилхлорида обеспечивает длительное сохранение прочности, хорошего внешнего вида и других свойств материала в самых жестких условиях. Незащищенный триланом материал в тех же условиях теряет прочность на 15—30% в течение трех месяцев.

Достоинство эпоксара заключается в том, что наряду с биоцидными свойствами он обладает способностью улучшать свето- и теплостойкость полимерных материалов, т. е. он — универсальный стабилизатор.

Некоторые антисептированные полимерные материалы иногда позволяют находить оригинальное решение сложных технических задач. Пленки, содержащие в составе биоциды, были успешно использованы для выстилания дна каналов, бассейнов и других гидросооружений. Такие защитные покрытия не обрастали микроорганизмами и водорослями, имели повышенный срок службы, предотвращали утечку воды в почву и даже предохраняли в определенной степени воду от засорения микроорганизмами и водорослями.

Использование биоцидов в составе пластиков может преследовать цели не только предохранения их от биоповреждений, но и

санитарно-гигиенические. Так, в некоторых лечебных учреждениях положительно зарекомендовали себя биоцидные пластики, из которых изготавливают пластмассовые ручки, сиденья унитазов, некоторые детали медицинского оборудования, пленочные изделия, антисептические подстилки для детских колясок и т. п.

Изделия санитарно-гигиенического назначения, изготовленные из антисептированного гексохлорофеном (1—2%) полиэтилена, ударопрочного полистирола и других пластиков, сохраняют антисептические свойства более года эксплуатации в больницах и предупреждают распространение инфекций, в то время как обычные незащищенные биоцидами материалы в тех же условиях могут быть источниками инфекционных болезней.

РЕЗИНЫ

Резины, резино-технические изделия, уплотнительно-прокладочные и другие материалы на основе эластомеров — полимеров с гибкими линейными макромолекулами, могут повреждаться микроорганизмами, насекомыми и грызунами.

Микробиологические повреждения, как правило, происходят на фоне старения резин под действием атмосферных, почвенных и других внешних воздействующих факторов. Случаи микробиологических повреждений отмечались в конструкциях водопроводов и других трубопроводов, в том числе в канализационных сетях, в которых применялись резиновые прокладки и уплотнения. Повреждения происходили и внутри трубопроводов, и снаружи, где стенки контактировали с почвой или воздухом.

Благодаря высоким диэлектрическим свойствам резина широко применяется в качестве электроизоляционного материала в проводах, кабелях и других изделиях электротехнической промышленности. Микробиологические повреждения представляют большую опасность для таких изделий. В этой отрасли промышленности раньше, чем в других, начались работы по изучению биоповреждений материалов, потому что нарушение целостности электрической изоляции приводило к выходу из строя электромоторов, динамомашин, трансформаторов и др. Для подземных кабелей представляют опасность грызуны, в некоторых случаях термиты и другие животные.

Биологическая стойкость каучуков. Натуральный каучук — линейный полимер цис-1,4-изопрена, его получают из латекса растений-каучуконосов. С микробиологическими повреждениями натурального каучука приходится сталкиваться на начальных стадиях его производства. Латекс натурального каучука содержит 30—35% углеводов, диспергированных в виде частиц каучука размером 0,15—0,5 мкм в воде. В течение 10—12 ч после сбора латекс должен быть обработан аммиаком, формалином или другими антисептиками, иначе под действием бактерий и дрожжей, попадающих в него из воздуха, он может коагулироваться и снизить или потерять товарные качества. Сырой натуральный каучук «смокед шит», или «белый креп», должен предохраняться от избыточного увлажнения

во избежание зарастания и повреждения грибами, бактериями и актиномицетами. Начальными признаками биоповреждений является появление окрашенных пятен на листах каучука.

Чаше других биоповреждения натурального каучука вызывают бактерии, например, рода *Acetobacter* и актиномицеты родов *Streptomyces*, *Actinomyces* и др. Случаи микробных повреждений вулканизатов натурального каучука встречаются при эксплуатации подземных электрических кабелей, изолированных резиной из натурального каучука, уплотнительных материалов, соприкасающихся с почвой, морской и водопроводной водой, сточными водами. Поверхностные дефекты и прокрашивания особенно заметны на вулканизатах со светлыми наполнителями. Они могут появляться уже на 4-й день пребывания резины в почве. Среди агентов биоповреждений, выделенных с вулканизатов натурального каучука, часто встречаются бактерии рода *Pseudomonas sp.*, актиномицеты *Streptomyces* и грибы *Fusarium*, *Aspergillus*. Биостойкость вулканизатов натурального каучука зависит не только от свойств самого эластомера, но и пластификатора, вулканизирующего агента, наполнителей и других компонентов.

Синтетические каучуки представляют большую группу эластомеров, отличающихся по химическому составу и биостойкости. Общим правилом для синтетических каучуков как и для других полимеров, является рост биостойкости по мере увеличения длины макромолекулярной цепи. Микроорганизмы легче утилизируют низкомолекулярные компоненты каучуков.

Изопреновые синтетические каучуки наиболее близки по химическому строению к натуральному каучуку. Подобно натуральному каучуку, они менее стойки к микробным повреждениям. В лабораторных условиях синтетический каучук СКИ-3 имеет низкую грибостойкость. Эксплуатационные испытания подтвердили данные о недостаточной грибостойкости.

Бутадиеновый каучук СКД (синтетический каучук дивиниловый) в зависимости от применяемых катализаторов полимеризации и противостарителей может быть в большей или меньшей мере биостойким. В целом он находится на одном уровне с изопреновым синтетическим каучуком. Бутадиен — стирольный каучук нестойк к обрастанию грибами в атмосфере и обрастает водорослями в морской воде.

Более высокой биостойкостью обладает бутадиен-акрилонитрильный каучук СКН. В сравнительных испытаниях он обрастал грибами значительно позднее, чем все рассмотренные каучуки, и даже проявлял фунгицидные свойства.

Хлоропреновые каучуки, получаемые полимеризацией 2-хлорбутадиена-1,3 благодаря наличию атома хлора в молекуле мономера, проявляют повышенную микробиологическую стойкость. Лабораторные и натурные испытания этих каучуков показали, что они очень медленно обрастают и в начале испытаний проявляют некоторое фунгицидное действие по отношению к почвенным грибам. Синтетические отечественные каучуки марки наирит А и наирит Б

считаются одними из наиболее стойких к повреждению бактериями и грибами.

Среди других синтетических каучуков биостойкими считают фторкаучуки, бутилкаучук, менее биостойкими, например, этиленпропиленовый (СКЭП).

Силиконовые каучуки, относящиеся к группе полимеров с гетероцепными макромолекулами, не обладают высокой стойкостью к микроорганизмам. В почвенных испытаниях они обрастали через 15 дней и снижали эксплуатационные показатели. Одними из основных агентов биоповреждений силиконовых каучуков являются актиномицеты.

Вспомогательные компоненты рецептур резиновых смесей. Наполнители резиновых смесей по биостойкости (на примере грибостойкости) подразделяют на стойкие, умеренно стойкие и нестойкие. К первой группе относят асбест, оксид цинка, мел, тальк, слюду. Ко второй группе — белую сажу и каолин; нестойкими являются аэросил, оксид магния. Применяемые в качестве наполнителей сажи различаются по грибостойкости. Более стойкими являются печная масляная и полуактивная термическая; небиостойкими — форсуночная и антраценовая сажи.

Среди ускорителей вулканизации наибольший интерес представляет тетраметилтиурамдисульфид — тиурам. Достоинством этого препарата является то, что наряду с основным назначением вулканизирующего агента он обладает выраженным биоцидным действием — фунгицидным, бактерицидным, инсектицидным и родентицидным. Для получения резин с повышенной биостойкостью часто достаточно увеличить в рецептуре содержимое тиурама, например до 1,5 вес. частей, чтобы обеспечить и вулканизацию каучука, и биостойкость резины. В меньшей мере выражены эти свойства у 2-меркаптобензотиазола (каптакс), фталевого ангидрида.

Пластификаторы и мягчители резин, как правило, обладают недостаточной грибостойкостью. Повреждающему воздействию плесневых грибов подвержены почти все мягчители — льняное масло, парафин, вазелиновое масло, канифоль, пластификаторы — дибутилфталат и диоктилсебацат, активаторы вулканизации — стеарин и воск.

Вулканизаты каучуков и резиновые изделия. Случаи микробиологического повреждения резиновых прокладок неоднократно отмечались на асбоцементных трубопроводах питьевой воды. В первые годы эксплуатации на них появилась шероховатость, затем они обросли пленкой слизи со стороны почвы и стали губчатыми со стороны воды. На поверхности образовался легко стирающийся слой наполнителя резины, которым была сажа. В сильно пораженных микроорганизмами местах разрушено было более половины сечения прокладок. Наиболее интенсивные повреждения вызывали актиномицеты из рода *Streptomyces* на прокладках из пористой резины.

Резиновая изоляция электрических и телекоммуникационных кабелей должна сохранять биостойкость в почве в течение десят-

ков лет. Среди многочисленных испытанных электроизоляционных резин наиболее биостойкими в течение восьми лет почвенных испытаний оказались вулканизаты хлоропренового каучука и бутадиен-акрилонитрильного, вулканизованного серой. Резиновые оболочки горных проводов и кабелей, применяемых в шахтах, часто повреждаются грибами родов *Penicillium* и *Aspergillus*. Грибы ускоряют старение изоляции и вызывают нарушение электрических цепей в результате падения поверхностного и пробивного сопротивления.

Вулканизаты каучуков и резиновые изделия могут повреждаться не только микроорганизмами, но и животными — термитами и грызунами, которые причиняют механические повреждения — прогрызают отверстия в изделиях, препятствующих доступу к пище, воде и убежищу, нарушают целостность покрытий и др. Стойкость резин к повреждению термитами и грызунами выше у твердых монолитных изделий из резины. Изделия из мягкой и пористой резины с шероховатой поверхностью, неровными краями и отверстиями менее стойки. Повреждения резин термитами усиливаются, если имеется контакт резины с древесиной. Вулканизаты уретанового и сульфидного каучуков являются более стойкими к повреждению термитами, чем вулканизаты натурального, бутадиен-стирольного, нитрильного, силиконового и хлоропренового каучуков.

Защита от микробиологических повреждений резин может осуществляться различными путями: подбором компонентов рецептур с повышенной биостойкостью (каучуков, наполнителей, пластификаторов и др.), исключением из композиций веществ, легко усваиваемых микроорганизмами, и, наконец, введением в композиции специальных добавок — биоцидов — в качестве вспомогательных компонентов.

К биоцидам для резин предъявляются наряду с общими ряд специальных требований, в частности, они должны быть термостабильны при температурах вулканизации резин (135—175°), не должны «выпотевать» — диффундировать из глубины материала на поверхность и влиять на другие компоненты резиновых смесей и т. д.

Ассортимент биоцидов для резин более ограничен, чем для текстильных материалов, пластиков и др. Например, такие распространенные биоциды, как соединения меди, непригодны, так как они являются катализаторами старения резин, другие недостаточно термостабильны.

Наиболее привлекательными биоцидами для резин являются тиурам и меркаптобензотиазол. Эти вещества давно применяются при производстве некоторых резин в качестве ускорителей вулканизации и поэтому технологам и разработчикам рецептур резин они хорошо знакомы. Оба они обладают фунгицидными свойствами, а тиурам является также инсектицидом и родентицидом.

Разработаны специальные биостойкие резины, которыми покрывают морские приборы, эксплуатирующиеся в морской воде. Для защиты от обрастания таких резин микроорганизмами, водорослями и моллюсками в их состав вводят до 10—15% трибутилового

акрилата. Бицид вымывается из материала на его поверхность со скоростью около 10 мг/м² в сутки и предохраняет резину от обрастания в течение нескольких лет.

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Микробиологические повреждения лакокрасочных покрытий — одни из часто встречающихся случаев биоповреждений. Характерные признаки их проявления — серо-зеленые, бурые, темные и другие окрашенные пятна и налеты плесени мицелия грибов и бактериальной слизи на окрашенных поверхностях в местах с повышенной влажностью, растрескивание и отслаивание покрытий, образование бугров и отверстий и другие повреждения.

Биоповреждения лакокрасочных покрытий обычно сочетаются с повреждающим воздействием на них других факторов внешней среды — атмосферной влаги с растворенными в ней агрессивными химическими веществами, воздействием солнечного света, повышенных температур и т. д. Эти процессы, относящиеся к процессам атмосферного старения полимерных материалов, могут предшествовать биоповреждениям, протекать одновременно с ними или же после них. Сочетание процессов старения и биоповреждений затрудняет изучение их и разработку средств защиты и требует тесного сотрудничества биологов с химиками.

Основными агентами микробиологических повреждений лакокрасочных покрытий являются плесневые грибы. Бактериальные поражения встречаются реже, они характеризуются появлением бесцветного или окрашенного слизистого налета. Под слоем краски встречаются микробиоценозы сложного состава, включающие бактерии и грибы. Среди микроорганизмов, повреждающих лакокрасочные покрытия, часто встречаются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Pullularia*, бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*. Повреждения покрытий грибами происходят либо за счет компонентов, входящих в состав покрытия, либо за счет веществ, загрязняющих поверхность покрытия, под действием метаболитов, выделяемых мицелием, который растет за счет загрязняющих покрытия веществ. Видовой состав грибов, повреждающих лакокрасочные покрытия, специфичен для различных почвенно-климатических зон. Он формируется из видов, составляющих сообщество, характерное для почв той или иной зоны. Один и тот же вид гриба может поражать покрытия различного состава.

Биоповреждения лакокрасочных покрытий чаще встречаются в условиях влажного тропического и субтропического климата, а также в сооружениях и помещениях с повышенной влажностью и температурой (предприятия мясомолочной и консервной промышленности, животноводческие фермы, бассейны, бани и т. п.). Здесь они могут причинять наибольший ущерб. Однако и в районах с умеренным климатом также приходится сталкиваться с повреждениями покрытий грибами, правда, меньшей интенсивности, если это толь-

ко не связано с нарушением условий эксплуатации (протечки, застой влажного воздуха и т. п.). В районах с сухим климатом такие повреждения встречаются очень редко.

Биостойкость лакокрасочных покрытий зависит как от состава и свойств лакокрасочных материалов (пленкообразователя и пигмента), так и частично от материала, на который наносится покрытие (подложки). Так, покрытия на древесине сохраняются лучше, чем на металле или силикатных строительных материалах. На черных металлах они бывают часто менее биостойкими, чем на цветных.

Важную роль играет правильный подбор системы покрытия, включающей, например, грунт, антикоррозионное защитно-декоративное или противообрастающее покрытие. Во многих случаях за счет правильного подбора компонентов лакокрасочного материала, системы покрытия и учета свойств подложки удается обеспечить требуемую биостойкость, не прибегая к использованию специальных лакокрасочных материалов, в которые вводятся фунгициды.

Пленкообразующие вещества. Решающее значение для биостойкости лакокрасочных покрытий имеет химический состав пленкообразующего полимера и физические свойства полученной из него пленки покрытия (набухаемость, твердость, пористость, гидрофобность и др.).

Синтетические пленкообразующие полимеры (термопластичные и термореактивные) менее склонны к повреждению микроорганизмами, чем природные. Грибостойкость этих покрытий уменьшается в следующем ряду: эпоксидные, полиуретановые, меламиноалкидные, кремнийорганические, пентафталевые. Повышению грибостойкости способствует увеличение скорости отверждения пленкообразующего вещества, уменьшение водопоглощения, шероховатости и пористости пленки. Гладкие блестящие ровные пленки более биостойки из-за того, что на них труднее адсорбируются споры грибов и они меньше загрязняются.

Среди природных пленкообразователей наиболее распространенными являются высыхающие масла — масла растительного происхождения (льняное, хлопковое, конопляное, подсолнечное, талловое и др.). Все они обладают сравнительно невысокой грибостойкостью. Для повышения биостойкости из растительных масел рафинированием удаляют воду, белковые продукты и другие примеси. Характерными признаками повреждения растительных масел микроорганизмами являются снижение их вязкости, повышение кислотности, ухудшение полимеризационной способности. Одним из биостойких пленкообразующих веществ лакокрасочных материалов природного происхождения является канифоль. Биостойкость канифоли связывают с присутствием в ее составе терпенов, обладающих фунгицидными свойствами, и образованием кислых продуктов в пленке в процессе формирования защитного покрытия.

Применяемые в качестве пленкообразователей битумы имеют недостаточную биостойкость. Для повышения биостойкости в состав

битумных лаков и битумных защитных покрытий добавляют фенольные, малеиновые и другие синтетические смолы.

Термопластичные синтетические смолы на основе хлорированного каучука, сополимеров стирола с бутадиеном и винилхлорида с винилацетатом, применяемые для производства быстросохнущих лаков и необрастающих лакокрасочных покрытий, характеризуются высокой биостойкостью.

Широко распространенным полимерным связующим является поливинилацетатная дисперсия. Изготавливаемые на ее основе краски, покрытия, мастики, грунтовки и другие материалы негрибостойки. Непластифицированные дисперсии поражаются грибами сильнее, чем пластифицированные. Небиостойки не только покрытия из поливинилацетатных красок, но и сами жидкие краски, которые в процессе хранения поражаются грибами и бактериями, при этом снижается их вязкость, образуются газообразные продукты и т. д.

Термореактивные синтетические смолы (глифталевые, пентафталевые, эпоксидные, силиконовые, мочевиноформальдегидные и др.), применяемые в составе лаков и эмалей горячего и холодного отверждения, обладают высокой биостойкостью, причем некоторые из них проявляют даже фунгицидные свойства. Покрытия из них отличаются высокой твердостью, гладкостью и малой проницаемостью, что способствует росту биостойкости.

Водорастворимые пленкообразующие вещества, в качестве которых используют производные целлюлозы, белковые соединения (декстрин, камеди, желатин, альбумин, казеин и др.) повреждаются плесневыми грибами. Пониженная биостойкость водорастворимых пленкообразователей органического происхождения связана с их гигроскопичностью, способностью к набуханию. Во влажных условиях нередко встречаются случаи повреждения казеиновых, декстриновых и других водэмульсионных клеевых красок плесневыми грибами.

В отличие от органических водорастворимых пленкообразователей неорганические пленкообразователи обладают высокой биостойкостью. Примером таких пленкообразователей является жидкое стекло.

Пигменты. Вторым важным компонентом, от которого зависит биостойкость лакокрасочного покрытия, является пигмент. Пигменты придают краске нужный цвет и кроющую способность, регулируют вязкость, улучшают стойкость к солнечной радиации и водостойкость покрытия. Благодаря повышенной твердости частицы пигмента механически затрудняют рост и развитие мицелия. Они могут оказывать также токсическое действие на плесневые грибы и другие микроорганизмы.

Оксид цинка, оксид меди (I), метаборат бария и некоторые другие пигменты обладают фунгицидными свойствами и поэтому повышают биостойкость содержащих и лакокрасочных покрытий. Вместе с тем такие пигменты, как мел, желтый крон, двуокись титана, алюминиевая пудра, оксид хрома, сажа, сами не обладают биоцидными свойствами, однако масляные краски на их основе об-

ладают повышенной грибостойкостью. Меньшей грибостойкостью отличаются масляные краски с пигментами окислов сурьмы, свинца, литопоном. Ряд неорганических пигментов и наполнителей, например, тальк, графит, слюда-мусковит, снижают стойкость к повреждению грибами.

Защита от биоповреждений лакокрасочных покрытий осуществляется прежде всего подбором систем покрытий с учетом условий эксплуатации и особенностей окрашиваемого объекта без применения специальных красок, содержащих биоциды. В условиях повышенной опасности микробиологических повреждений рекомендуется использовать антисептированные краски, т. е. краски, содержащие в составе биоциды.

Защитно-декоративные и электроизоляционные лакокрасочные покрытия с добавками биоцидов рекомендованы для использования в некоторых видах радиоэлектронной аппаратуры, оптико-механических и других приборов, особенно поставляемых в страны с тропическим климатом. Антисептированные краски применяют для окраски помещений с повышенной влажностью и температурой (бассейны, бани, некоторые предприятия пищевой промышленности и др.).

В качестве биоцидов для лакокрасочных покрытий общего назначения, предназначенных для наружного и внутреннего применения, могут применяться следующие соединения: 1) неорганические пигменты — оксид цинка, оксид меди (I), метаборат бария и др.; 2) органические фунгициды — 8-оксихинолят меди (окрашивает от желто-зеленого до коричневого цвета, может применяться в пищевой промышленности из-за низкой токсичности), салициланилид, бромтан, *n*-нитрофенол, тетра- и пентахлорфенол, фталан (трихлорметилтиофталимид) и др.; 3) металлоорганические фунгициды — оловоорганические (гексабутилдиэтанноксан, трибутилоловоакрилат), мышьякорганические (хлорфеноксарсин), ртутьорганические (фенилртутиолеат и др.), последние из-за высокой летучести и токсичности для человека имеют ограниченное применение.

Лакокрасочные покрытия для защиты от обрастания в водной среде. Основным способом защиты от обрастания является нанесение на защищаемую поверхность противообрастающего (необрастающего) лакокрасочного покрытия. Отличительной особенностью таких покрытий является то, что в них находятся добавки токсичных для гидробионтов-обрастателей веществ — биоцидов (альгицидов, моллюскицидов). Эти добавки постепенно вымываются морской водой из покрытия и, поражая гидробионтов-обрастателей в пограничном с корпусом судна слое, предохраняют его от обрастания.

Применение необрастающих покрытий с биоцидами наряду с определенными достоинствами имеет и существенные недостатки. В частности, при скоплении большого числа морских судов в портах морская вода может загрязняться токсичными веществами, вымываемыми из противообрастающих покрытий. Поэтому в настоящее время к таким покрытиям предъявляются жесткие экологиче-

ские требования. Прежде всего запрещено или резко ограничено применение наиболее токсичных и стойких к морской воде органических соединений, содержащих ртуть, свинец, хлор.

Среди биоцидов в противообрастающих покрытиях наиболее широкое применение находит оксид меди (I). Этот препарат имеет довольно широкий спектр защитного действия, обладает умеренной растворимостью в морской воде, не представляет большой опасности как загрязнитель морской воды.

Эффективными биоцидами являются органические соединения олова (гексабутилдистанноксан или бистрибутилоловооксид), мышьяка (бисдигидрофенарсазиноксид или *n*-оксид). Эти препараты применяются в современных необрастающих красках «контактного» действия, в которых в качестве пленкообразователя используют перхлорвиниловую смолу или сополимеры винилацетата с винилхлоридом.

Контактные покрытия действуют по указанному механизму — находящиеся на поверхности покрытия биоциды растворяются в пограничном слое и, по мере их растворения, в результате диффузии из глубины покрытия на его поверхность перемещаются новые частицы биоцида.

В процессе эксплуатации покрытия в результате истощения запасов биоцида в пограничный слой диффундирует биоцид с меньшими скоростями. В результате этого даже если биоцид полностью не израсходовался из глубинных слоев покрытия, в пограничный слой он поступает в количестве, не достаточном для защиты от обрастания. Одним из путей преодоления этого недостатка является введение в состав покрытия добавок водорастворимых веществ, в частности канифоли. Постепенное растворение частиц канифоли создает микропоры в покрытии и облегчает диффузию биоцида на поверхность.

Другим типом противообрастающих покрытий являются покрытия с применением водорастворимых полимерных пленкообразующих веществ, содержащих в макромолекуле полимера боковые функциональные группировки с биоцидными свойствами. В таком полимере совмещаются свойства связующего и биоцида. Примером такого пленкообразующего вещества является сополимер трибутилоловоакрилата и малеината.

Биоцидные боковые группировки трибутилолова в результате гидролиза в морской воде отщепляются от макромолекулы полимера и обеспечивают защиту от обрастания. Оставшийся полимер приобретает повышенную растворимость в морской воде и переходит в раствор, обнажая новый слой, содержащий в макромолекуле биоцидные группировки. Таким образом обеспечивается равномерное растворение биоцида в пограничном слое морской воды по мере растворения макромолекул полимерного связующего. Срок службы такого покрытия зависит от толщины покрытия и скорости растворения.

Современные покрытия растворимого типа наносятся слоем толщиной 200—300 мкм и при скорости растворения 8—10 мкм в месяц

обеспечивают надежную защиту от обрастания в течение 2—3 лет. Достоинством покрытий с растворимым полимерным связующим является еще и то, что в процессе его растворения сглаживаются выступающие неровности на окрашенной поверхности корпуса судна и происходит, как говорят, «самополирование» покрытия. Поэтому покрытия такого типа называют самополирующимися или «сополимерными покрытиями самополирующимися» (СПС).

К числу достоинств покрытий типа СПС относится то, что в результате «самополирования» поверхности корпуса судна снижается гидродинамическое сопротивление воды движению судна и наблюдается эффект, обратный вызываемому обрастанием, — снижение расхода топлива при сохранении постоянной скорости судна или повышение скорости при сохранении постоянного расхода топлива (мощности двигателя).

ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ущерб от биоповреждений топлив и смазочных материалов проявляется в ухудшении качества самих продуктов, а также в коррозии резервуаров, топливных и смазочных систем двигателей и т. п., в появлении кожных, аллергических и других заболеваний у лиц, контактирующих с нефтепродуктами, зараженными микроорганизмами.

Биоповреждения авиационных топлив. Среди различных видов нефтяных топлив более биостойкие — легкие дистиллятные топлива — бензины, менее стойкие керосины. По мере развития реактивной авиации, в которой в качестве топлива (горючего) используется керосин, растет число случаев биоповреждений авиационных топлив.

Повреждениям подвергаются топлива и топливные системы, а также наземные резервуары — хранилища нефтепродуктов. При этом наблюдают следующие проявления биоповреждений: 1) скопление в донной части топливных баков и резервуаров шлама — воды с различными загрязнениями, включая бактериальную слизь; 2) ухудшение качества топлива, включая образование стойких эмульсий типа вода в масле, повышение кислотности, изменение запаха и цвета топлива, загрязнение взвешенными частицами мицелля и слизи; 3) отложение осадков мицелля и колоний бактерий на внутренних стенках топливных систем, резервуаров, забивание осадками трубопроводов и фильтров; 4) развитие коррозии металлов в донной части, где скапливается водный шлам, в особенности на границе раздела топливовода и в других местах; 5) разрушение или отслоение защитных покрытий под скоплениями колоний микроорганизмов, разрушение метаболитами уплотнительно-прокладочных материалов и др.

Основными микроорганизмами, вызывающими биоповреждения топлив, являются бактерии родов *Pseudomonas*, *Nicrococcus*, *Micobacterium*, а также грибы *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* и др. При этом чаще других в нефтепродуктах обнаружи-

вают бактерию *Pseudomonas aeruginosa* и грибы *Cladosporium resinae* «керосиновый гриб».

Биоповреждения топлив связаны с микробиологическим ферментативным окислением углеводов с образованием органических кислот, обладающих поверхностно-активными свойствами и эмульгирующих топлива.

Основное условие развития микрофлоры в топливе — наличие в нем воды со следами минеральных солей и подходящая температура. В абсолютно сухом топливе развитие и рост микроорганизмов прекращается. Однако в реальных условиях эксплуатации и хранения топлив трудно и даже невозможно полностью освободиться от влаги, а присутствие в них 0,01—0,02% воды и даже ее следов достаточно для того, чтобы начался рост микроорганизмов.

Скорость и глубина микробиологического окисления нефтепродуктов зависят от их углеводородного состава. Известно, что углеводороды, имеющие линейное строение молекул, быстрее разрушаются, чем их разветвленные изомеры. Алифатические (парафиновый) углеводороды чаще менее биостойкие, чем ароматические. Поэтому и топлива, содержащие в основном парафиновые углеводороды, могут разрушаться микроорганизмами быстрее, чем содержащие большее количество ароматических соединений.

Защита авиационных топлив от биоповреждений предусматривает прежде всего предотвращение попадания воды в топлива, своевременную осушку его и удаление воды из донной части резервуаров, соблюдение санитарно-гигиенических мер профилактики и применение биоцидов — антимикробных присадок.

Для защиты топлив от обводнения всячески уменьшают контакт с воздухом, особенно влажным, применяют специальные осушивающие препараты типа силикагеля, фильтрацию и т. д. Хорошие результаты по очистке и обеззараживанию топлив дают применение сверхтонких фильтров, термическая и радиационная стерилизация (пастеризация). Однако эти способы сложные и дорогие. Химические средства защиты — антимикробные присадки не должны ухудшать горение и энергетические характеристики топлив. Поэтому некоторые биоциды, применяемые, например, для защиты от биоповреждений полимерных и других материалов, оказываются непригодны для защиты топлив.

Среди многочисленных испытанных в качестве биоцидов соединений лучшим комплексом свойств обладает антимикробная присадка, содержащая монометиловый эфир этиленгликоля с добавкой этиленгликоля. Эта присадка ранее была принята для использования в топливах, в качестве противообледенительной прошла широкие эксплуатационные испытания и, как установили позднее, обладает хорошими бактерицидными свойствами в концентрации 0,1%. Другой антимикробной присадкой является диметилалкилбензиламмоний хлорид (алкил C_{17-20}), относящийся к классу четвертичных аммониевых соединений и обладающий поверхностно-активными свойствами. Этот препарат может применяться для обеззараживания топливных систем и хранилищ после слива топлива.

Биоповреждения дизельных топлив. Тяжелые дистиллятные дизельные топлива, применяемые на судовых двигателях и тепловозах, энергетических установках и др., могут поражаться в присутствии воды теми же микроорганизмами и в тех же условиях, что и авиационные топлива (керосины). Основные пути защиты дизельных топлив от микробиологических повреждений, так же как и авиационных керосинов, связаны с их осушкой и предотвращением попадания в них воды, загрязнений и т. п.

Биоповреждения масел и смазок. Широкие обследования авиационной, автомобильной, морской и других видов техники показали во многих случаях наличие микроорганизмов в смазочных маслах. Однако присутствие их часто не сопровождалось ухудшением работы двигателей или изменением смазочных масел. Это относилось прежде всего к двигателям, имеющим закрытые системы смазки циркуляционного типа. В таких изолированных системах на отдельных участках масло нагревается до 120—180° и при этом происходит его обеззараживание.

В двигателях и механизмах с открытыми системами смазки более вероятно развитие микроорганизмов, таких, как бактерии рода *Pseudomonas*, грибы *Cladosporium resinae*, а также *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*.

Наиболее часто микроорганизмы поражают защитные (консервационные) масла и смазки в районах с тропическим и субтропическим климатом. Они снижают защитные свойства таких материалов, а их метаболиты вместе с другими агрессивными агентами атмосферы могут усиливать атмосферную коррозию металлов. Введение в состав защитных масел и смазок антимикробных присадок — биоцидов снижает коррозионные поражения.

Среди углеводородных защитных смазок без антимикробных присадок менее стойки к биоповреждениям технический вазелин, церезин, мыльные смазки типа ЦИАТИМ-201 и др.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) представляют разновидность смазочных материалов, обладающих наряду со смазочным еще и охлаждающим действием. СОЖ — это эмульсии углеводородного масла в воде в соотношении 1 : 20—40 с добавками эмульгаторов и присадок. Они применяются в высокооборотных металлообрабатывающих станках и механизмах, в прокатных станах и т. п.

СОЖ — одни из распространенных в промышленности материалов. В США ежегодный расход их составляет около 0,5 млн. м³; не менее 1 млн. станочных рабочих и мастеров используют их в своей работе.

В отличие от рассмотренных ранее топливных и смазочных систем различных современных двигателей закрытого типа, у которых ограничен контакт с внешней средой и поэтому менее опасно интенсивное внешнее заражение микроорганизмами и развитие биоповреждений топлив и масел, СОЖ постоянно контактируют с атмосферой в рабочем узле, повышая вероятность инфицирования аэробной микрофлорой, а в их резервуарах создаются благоприятные условия для развития анаэробной микрофлоры. Поэтому в со-

временных металлообрабатывающих отраслях промышленности среди других проблем защиты от биоповреждений одной из наиболее острых является защита СОЖ.

Биоповреждения СОЖ проявляются в появлении постороннего гнилостного и сероводородного запаха, изменении окраски, падении вязкости, повышении кислотности и коррозионной агрессивности и т. д.

Специфической особенностью биоповреждений СОЖ является ухудшение санитарно-гигиенических условий работы с ними. Контакт рабочих с зараженными СОЖ или попадание их частиц с воздухом в легкие приводит к возникновению профессиональных болезней. Около 25% всех профессиональных дерматитов у станочных рабочих связано с их контактом с пораженными патогенными микроорганизмами СОЖ. Неинфицированные СОЖ вызывают заметно меньше дерматитов.

В зависимости от видового состава микрофлоры предельно допустимое количество микроорганизмов в СОЖ колеблется примерно от 15 до 50 млн. клеток/мл. В обычных рецептурах СОЖ без добавок биоцидов такое содержание микроорганизмов может достигнуть в течение недели. После этого непригодная для использования СОЖ разбавляется в 40—50 раз водой и сбрасывается в сточные воды. Таким образом, проблема защиты от биоповреждений СОЖ и продления срока их службы имеет также важный природоохранный экологический аспект.

Микробиоценозы СОЖ имеют сложный состав, в котором доминируют грамотрицательные бактерии, коли-формы, псевдомонасы и анаэробные сульфатовосстанавливающие бактерии (СВБ). Основными микроорганизмами, вызывающими биоповреждения водэмульсионных СОЖ, являются бактерии *Desulfovibrio*, *Pseudomonas*, *Fusarium*, грибы *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* и дрожжи. Среди патогенных форм также отмечают *Escherichia coli*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas* и др.

Биоповреждение СОЖ сопровождается изменением окраски в процессе эксплуатации от опалово-синего до черного цвета с различными оттенками, которое связывают с образованием сульфида железа, а специфический гнилостный запах с сильной примесью сероводорода является следствием совместного действия гетеротрофных бактерий *Pseudomonas* и анаэробных СВБ рода *Desulfovibrio*. Интенсификации жизнедеятельности микроорганизмов в застойных зонах способствует отсутствие аэрации и света и остановка циркуляционных систем.

Биоповреждение СОЖ происходит, как правило, в несколько стадий. На 1-й стадии в аэробных условиях бактерии окисляют компоненты СОЖ, токсичные для СВБ, затем в анаэробных зонах создаются благоприятные условия для развития СВБ.

Защита СОЖ от биоповреждений представляет комплекс мероприятий санитарно-гигиенического характера (соблюдение чистоты на рабочих местах и в помещениях), технологического характера (использование мягкой воды, поддержание щелочной среды с рН

9—9,5, периодическая термическая стерилизация — пастеризация), конструктивного и организационного характера (предотвращение возможностей создания анаэробных условий в конструкциях, периодическая аэрация, сокращение простоев оборудования и др.) и применение химических средств защиты — антимикробных присадок к СОЖ (биоцидов).

Поиски эффективных биоцидов для СОЖ интенсивно ведутся в течение последних 30—40 лет. Отечественные биоциды для СОЖ серии азин, вазин, формацид и других обеспечивают срок службы от 30 до 50 дней и более.

За рубежом широкое применение получили производные сим-триазина, например, гексагидро-1,3,5-триэтил-сим-триазин и гексагидро-1,3,5-трис (2-оксиэтил) сим-триазин. Представляют интерес соединения, относящиеся к группе «доноров формальдегида» — веществ, способных разлагаться в условиях эксплуатации с образованием формальдегида, являющегося мощным бактерицидом. К этим веществам относятся, например, гексаметиленetetрамин (уротропин), трис (оксиметил) нитрометан. Ранее широко применялись в качестве биоцидов производные 2,4,5-трихлорфенола, этилмеркурсалицилат натрия и др. Сейчас эти препараты не применяются из-за опасности для здоровья человека.

МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

Биоповреждения металлов и металлоконструкций принято называть биокоррозией или микробиологической коррозией металлов. Поскольку среди живых организмов — агентов биокоррозии — основными являются бактерии и микроскопические грибы, то в специальной литературе приняты термины «бактериальная» и «грибная» коррозия. В зарубежной литературе термин биокоррозия и микробиологическая коррозия иногда распространяется и на неметаллические материалы. В нашей стране официально принятый термин «биокоррозия» относится только к металлам и металлоизделиям.

В технике и повседневной жизни со случаями биокоррозии металлов приходится сталкиваться реже, чем со случаями биоповреждений неметаллических материалов. Это связано с различными причинами. Прежде всего металлы сами по себе являются более биостойким материалом, а некоторые из них обладают даже биоцидным действием. В машинах, приборах и других технических изделиях они, как правило, используются с различными защитными и декоративными лакокрасочными и другими покрытиями, которые первыми принимают на себя воздействие агентов биоповреждений и предохраняют металл от биокоррозии. И, наконец, следует отметить, что внешние проявления биокоррозии металлов мало отличаются от обычной коррозии, сопровождающейся, например, в случае атмосферной коррозии появлением ржавчины. Поэтому даже специалисты в области коррозии не всегда могут распознать биокорро-

зию и для установления биологической природы тех или иных случаев коррозии вынуждены обращаться к микробиологам.

Так, например, только благодаря большой работе, проведенной учеными Института микробиологии и вирусологии АН УССР, удалось распознать микробиологическую природу сильных коррозионных поражений, угрожающих металлическим конструкциям тоннеля при строительстве метрополитена в Киеве. При прокладке тоннеля на одном из участков строительства метрополитена кессонным способом было обнаружено, что стальные болты, скрепляющие тубинги тоннельной обводки, в течение нескольких месяцев прокорродировали почти наполовину. Чтобы предотвратить аварию, нужно было принять срочные меры, а причины коррозии не были ясны.

Предварительные анализы грунта на коррозионную агрессивность дали отрицательные результаты. Однако микробиологи выявили, во-первых, наличие в пробах грунта минералов, содержащих соединения серы, например пирита, состоящего из дисульфида железа, во-вторых, наличие в этих же пробах тионовых (сероокисляющих) бактерий и, в-третьих, изменение атмосферных условий в тоннеле при его прокладке. Предварительные испытания до начала строительства тоннеля показали, что грунт влажный, условия анаэробные и тионовые бактерии не опасны. Кессонный способ прокладки тоннелей связан с подачей в забой сжатого воздуха под давлением около 3 атм. Как только появился третий фактор — кислород воздуха, создались благоприятные условия, в результате чего начался бурный рост и размножение тионовых бактерий, количество которых, как показали опыты, в считанные дни может возрасти с единиц в 1 г почвы до нескольких миллионов. В аэробных условиях эти бактерии интенсивно окисляют сульфиды с образованием серной кислоты, которая может вызывать коррозию. Вместе с ростом тионовых бактерий появилась серная кислота, вызывавшая интенсивную коррозию.

Самой эффективной рекомендацией по защите от биокоррозии, данной микробиологами строителям, было прекращение подачи воздуха в забой и применение вместо кессонного других способов прокладки тоннеля. Коррозия тут же прекратилась и аварию удалось предотвратить.

Описанный случай, получивший широкую известность, заставил многих строителей подземных сооружений внимательно относиться к микробиологической опасности. Предварительный анализ коррозионной агрессивности почв и грунтов после этого стал проводиться при обязательном участии микробиологов и с более глубоким учетом экологической обстановки, которая может сложиться в процессе строительства и после него.

Микробиологическая коррозия может протекать самостоятельно и сопровождать электрохимическую почвенную, атмосферную, морскую и другие виды коррозии металлов.

Действие микроорганизмов на металлы может происходить различно. Прежде всего, коррозию металлов могут вызывать агрессивные экзометаболиты микроорганизмов — минеральные и органиче-

ские кислоты и основания, ферменты и др. Они создают коррозионно-активную среду, в которой в присутствии воды протекает коррозия по обычным законам электрохимии.

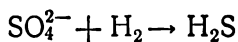
Колонии микроорганизмов могут создавать на поверхности металлов наросты и пленки мицелия или слизи, под которыми может развиваться язвенная (питтинговая) коррозия в результате разности электрических потенциалов на различных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов самими микроорганизмами.

Биокоррозию металлов могут вызывать различные роды микроскопических грибов. Среди литотрофных бактерий наиболее часто коррозию металлов связывают с деятельностью: сульфатвосстанавливающих бактерий (СВВ) родов *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*; тионовых бактерий рода *Tiobacillus*, окисляющих серу и соединения серы до серной кислоты; железобактерий родов *Gallionella* и *Sphaerotilus*, окисляющих закисное железо до окисного.

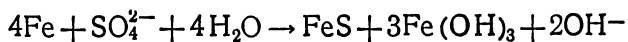
Коррозия металлов и металлоконструкций под действием СВБ встречается в технике наиболее часто по сравнению с другими видами биокоррозии. Характерной особенностью этого вида коррозии является то, что она протекает в анаэробных условиях и основные возбудители ее два рода СВБ — *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*.

Случаи анаэробной коррозии более характерны для подземных сооружений и конструкций (нефтепромысловое оборудование, трубопроводы, нефтехранилища и т. п.), находящихся в плотных глинистых и водоносных слоях грунта.

Коррозия металлов под действием СВБ связана главным образом с образованием сероводорода и сульфидов в результате восстановления сульфатов:



Удаление водорода с поверхности металла приводит к образованию сульфида и гидроксида железа:



Коррозия железа и стали под действием СВБ обычно имеет характер местной и язвенной коррозии. Продукты коррозии окрашены в характерный черный цвет, имеют запах сероводорода, слабо прилегают к поверхности металла, который под их слоем сохраняет блестящую поверхность. Особенно интенсивно протекает коррозия чугуна под действием СВБ, сохраняющиеся островки частиц углерода рассыпаются от легкого прикосновения.

В анаэробных условиях глинистых почв водопроводные трубы с толщиной стенки 6 мм разрушались полностью в течение 3—4 лет. Наличие в почве свободных ионов железа ускоряет биокоррозию.

Механизм биокоррозии под действием СВБ очень сложен, поскольку параллельно протекает несколько многостадийных процессов. Наряду с восстановлением сульфатов, как правило, происходит восстановление фосфатов.

Особую актуальность исследование биокоррозии под действием

СВБ приобрело в нефтяной промышленности в последние годы. Для повышения эффективности нефтяных месторождений (полноты отдачи нефти месторождениями) был разработан и широко внедрен метод законтурного заводнения нефтесодержащих пластов. Метод заключается в том, что по периметру (контур) месторождения под землю нагнеталась под давлением вода, которая выдавливала нефть из грунта и выносила ее вместе с собой. Таким путем была резко повышена нефтеотдача, особенно на тех месторождениях, где по мере истощения запасов давление нефти в пласте и ее добыча стали падать.

После того как этот метод получил широкое распространение, по причине коррозии стали учащаться случаи аварий на нефтяных месторождениях. Быстро изнашивалось и выходило из строя нефтепромысловое оборудование, разрушались трубопроводы и т. д. В результате многочисленных исследований в нашей стране и за рубежом было установлено, что коррозия имеет биологическую природу и связана прежде всего с СВБ.

Основная причина возникновения биокоррозии на нефтяных месторождениях, где применялось законтурное заводнение, как оказалось, была связана с тем, что нагнетавшаяся под землю речная или озерная вода не проходила специальной очистки от сульфатов. Под землей оказались благоприятные температурные, химические и в целом экологические условия для интенсивного развития и размножения СВБ.

От биокоррозии страдало прежде всего подземное оборудование скважин, а также надземное оборудование и трубопроводы, так как добываемая с нефтью вода содержала сероводород и была коррозионно активна. Вода отделялась от нефти, тут же на месторождении снова закачивалась в пласт и еще больше обогащалась агрессивными компонентами. Выход из строя насосного и бурового оборудования, многочисленные аварии в результате прорывов трубопроводов были следствием биокоррозии под действием СВБ.

Другим примером биокоррозии под действием СВБ и связанных с ними в биоценозах микроорганизмов является коррозия стальных резервуаров с нефтепродуктами. Были обнаружены случаи коррозии стенок резервуаров с внутренней стороны. Коррозия носила язвенный характер вплоть до сквозных перфораций. Коррозионные поражения располагались в основном в донной части.

Как показали исследования, в случаях коррозии в донной части резервуаров нефтехранилищ был обнаружен шлам и так называемая «подтоварная» вода. Вода попадала в нефтепродукты в процессе хранения и транспортировки и если своевременно не удалялась, то скапливалась внизу. В ней концентрировались и коррозионно-активные соли, и микроорганизмы. Помимо СВБ ответственными за коррозию были и другие микроорганизмы, например *Pseudomonas aeruginosa*, которые концентрировались в шламе и вызывали коррозию.

Биологическая природа коррозионных поражений нефтехранилищ была подтверждена тем, что эффективную защиту от нее обес-

печивает применение бактерицидов в сочетании с проведением санитарно-гигиенических мероприятий.

Известны примеры поражения бактериями цветных металлов, в частности алюминиевых сплавов. Так, в авиации «жертвой» биокоррозии оказались топливные системы реактивных самолетов из алюминиевых сплавов. Авиационные топлива с примесями воды — благоприятная среда для СВБ, *Pseudomonas* и других бактерий.

Биокоррозия под действием микроскопических грибов. Метаболиты многих микроскопических грибов вызывают коррозию черных и цветных металлов. Биокоррозия под действием грибов характерна для атмосферных и почвенных условий. В местах с ограниченным воздухообменом, где создаются благоприятные для развития грибов температурно-влажностные условия, попавшие на поверхность металла вместе с загрязнениями споры грибов могут вызвать коррозию металлов. Выросшие на загрязненных поверхностях мицелии грибов способны в дальнейшем удерживать влагу даже при снижении относительной влажности окружающего воздуха до 60% и ниже. Местное повышение влажности в присутствии мицелия создает дополнительные благоприятные условия для развития коррозии.

Наиболее опасными в отношении биокоррозии металлов климатическими зонами являются зоны влажного тропического и субтропического климата. В зонах умеренного климата грибы вызывают коррозию в тех случаях, где нарушаются условия хранения или эксплуатации техники.

Типичными представителями грибов, вызывающих биокоррозию в различных климатических зонах, являются грибы родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium* и др. Штаммы музейных культур этих грибов используются в качестве тесткультур для исследования биокоррозии металлов в лабораторных условиях. Как правило, музейные штаммы бывают менее агрессивны, чем культуры, выделенные непосредственно с пораженных грибами материалов. В естественных микоценозах могут встречаться и доминировать наряду с указанными грибами и другие.

Поскольку грибы гетеротрофы, то на поверхности чистого, незагрязненного металла, не имеющего контакта с органическими материалами, например смазками, полимерными пленками, красками и др., они не могут развиваться. Биокоррозия металлов под действием грибов носит в связи с этим как бы вторичный характер. Вначале грибы поселяются и развиваются на органических материалах, контактирующих с металлом, а затем мицелий, распространяясь на металл, вызывает коррозию своими метаболитами — кислотами, ферментами.

Биокоррозия отмечалась на незащищенных смазками или неокрашенных металлических деталях — резьбовых соединениях, электрических контактах и т. п. Такие поражения характерны для радиоэлектронных и оптических приборов (телевизоры, стереотрубы, микроскопы). Образование мицелия на поверхности электрических контактов приборов в ряде случаев вызывало нарушение работы всего прибора вследствие замыкания электрической цепи

или размыкания из-за нароста продуктов коррозии на поверхностях.

Защита металлов от биокоррозии. Способы защиты металлов от биокоррозии основаны на применении химических бактерицидов и фунгицидов, а также на рациональном подборе и использовании в конструкциях технических изделий биостойких материалов. Большое значение имеет строгое соблюдение санитарно-гигиенических правил на производстве и при эксплуатации техники. Важным условием предупреждения биокоррозии подземных сооружений является прогнозирование биокоррозионной опасности почв и грунтов, в которых должны строиться и эксплуатироваться подземные сооружения.

Там, где повышена опасность бактериальной коррозии, рекомендуется принимать следующие меры: 1) при прокладке трубопроводов следует избегать анаэробных условий для предупреждения биокоррозии от СВБ. В участках наиболее высокой опасности СВБ эффективную защиту оказывают аэрация, дренаж заболоченных почв, засыпка гравием и т. п. Если же опасность грозит со стороны тионовых бактерий, то надо предпринимать все меры, чтобы не допустить интенсивной аэрации; 2) использование щелочных реагентов позволяет подавить жизнедеятельность СВБ. Поэтому при прокладке труб в потенциально опасных кислых почвах целесообразно делать засыпки известью или мелом; 3) использование специальных биостойких защитных покрытий или материалов, например керамических труб, биостойких полимерных труб; 4) очистка воды от опасных микроорганизмов и солей. Эффективную дезинфекцию от СВБ и других бактерий обеспечивает длительное хлорирование воды при концентрации активного хлора 0,0001% или ударными дозами хлора.

Интересный способ защиты был разработан тюменскими нефтяниками. Они предложили сочетать электрохимическую и химическую защиту подземного оборудования нефтепромыслов от коррозии под действием СВБ путем электролизного хлорирования. Электрический ток пропускают между обсадными трубами скважины. В результате электролиза хлоридов, растворенных в воде, образуется хлор, который и производит бактерицидное действие.

Применяемые для защиты от коррозии трубопроводов битумные покрытия часто оказываются благоприятным субстратом для развития микроорганизмов и вслед за ними — коррозии. Более эффективны покрытия из каменноугольного пека, а также эпоксидно-каменноугольные покрытия.

Для защиты от биокоррозии внутренних поверхностей резервуаров нефтепродуктов и топливных систем используют биоцидные добавки к нефтепродуктам, а также защитные покрытия. Наиболее эффективные покрытия для защиты стальных резервуаров от бактериальной коррозии — эпоксидные. Они выдерживают самые жесткие коррозионные условия, возникающие в резервуарах в донной части на границе раздела нефтепродукт — вода.

Среди химических средств защиты нефтепромыслового оборудования от СВБ эффективным и доступным оказался формальдегид

(формалин). Введение его в концентрации 10—20 мг/л в воду, нагнетаемую в скважины, обеспечивает резкое снижение биокоррозии.

Рекомендовано много других биоцидов, однако их высокая стоимость и дефицитность ограничивают возможность широкого применения их.

Для защиты металлов от коррозии под действием грибов применяются в основном те же химические средства (фунгициды), что и для защиты неметаллических материалов. Существенным требованием при этом к фунгицидам является то, чтобы они, обладая биологически активным действием против грибов, сами не были агрессивны к металлам и не вызывали коррозии, так как известно, что некоторые фунгициды коррозионно опасны. В то же время среди органических соединений, применяемых для защиты от коррозии в качестве ингибиторов коррозии, были найдены препараты, обладающие фунгицидным действием.

ДРЕВЕСИНА

Древесина наряду с металлами и силикатными материалами (бетон, кирпич) составляет группу самых распространенных материалов, применяемых человеком. Ежегодно в нашей стране заготавливается около 300 млн. м³ деловой древесины. Расход древесины в строительстве в 2 раза превышает по объему расход сборного железобетона. Однако в отличие от металлов и силикатных материалов, являющихся неорганическими веществами, древесина, будучи органическим материалом природного происхождения, служит источником углеродного питания для многих живых организмов. Утилизирующие древесину организмы являются источником биоповреждений деловой древесины, деревянных построек, мебели и других изделий из древесины. Ни одно деревянное строение или изделие не может избежать поражения биологическими агентами и реже — огнем.

Основными агентами биоповреждений древесины являются развивающиеся на древесине грибы (деревонаселяющие грибы), насекомые и некоторые гидробионты. В умеренных широтах на долю поражений грибами приходится около 90% всех биоповреждений древесины. Биоповреждение древесины происходит в основном в результате использования грибами и насекомыми в качестве источника питания целлюлозы, лигнина и других компонентов. Бактерии по сравнению с грибами и насекомыми, непосредственно разрушающими волокна древесины, причиняют меньший ущерб и оказывают косвенное повреждающее действие.

Деревонаселяющие грибы играют важную роль в углеродном цикле биосферы. Они участвуют в разложении сотен миллионов тонн углеводных и других углеводородных соединений древесины с образованием углекислоты и воды. Вместе с тем деренонаселяющие грибы, повреждающие живые деревья и разрушающие древесные материалы и изделия из них, перестают считаться полезными и требуют применения эффективных мер защиты от них.

Различные породы древесины имеют не только неодинаковый химический состав, но и различаются по структуре и прочности волокон, плотности древесины и другим свойствам, которые оказывают влияние на биостойкость. Среди пород древесины выделяют группы биостойкие, средней стойкости, малостойкие и небиостойкие. К биостойким относят сосну, ясень, ядро лиственницы и дуба; к среднестойким — ель, кедр, пихту, заболонь лиственницы, ядро березы; к малостойким — вяз, клен, заболонь березы и дуба; к нестойким — осину, липу и ольху. Чем выше естественная биостойкость, тем меньше требуется дополнительной химической защиты.

Биоповреждения древесины, как правило, сочетаются со старением под действием погодных факторов, механических или других эксплуатационных нагрузок. Под влиянием периодических увлажнений, смены температуры, солнечного света и других факторов происходит разрыхление волокон поверхностного слоя древесины, повышение ворсистости (мацерация). Здесь скапливаются влага и пыль и создаются условия, благоприятные для развития спор грибов, вызывающих умеренную гниль. Со временем в более глубоких слоях развиваются грибы — возбудители сплошной гнили. Пораженная гнилью древесина легче впитывает воду. Имеющиеся трещины за счет усадки древесины расширяются. Замерзающая в трещинах вода усиливает разрушения, появляются сколы и осыпи заболони. Более уязвимой становится ядро древесины.

В зависимости от характера и условий эксплуатации различают медленный (хронический) и быстрый (острый) тип биоповреждений древесины. К медленному типу относятся случаи биоповреждений древесины, находящейся в контакте с атмосферой (кровля и стены домов, настилы, платформы и т. п.), и в более тяжелых условиях — в контакте с почвой (опорные столбы, сваи, нижние венцы домов и т. п.). При условии отсутствия конструктивных погрешностей и при правильной эксплуатации такие повреждения могут длиться десятки лет. Случаи быстрых биоповреждений древесины происходят, как правило, в результате строительных и конструкционных ошибок и нарушений правил эксплуатации, например плохой гидроизоляции от грунта, недостаточной вентиляции подполья, неисправностей водосточков, протечек кровли и др.

Источники биоповреждений древесины. Среди грибов, вызывающих биоповреждения древесины, выделяют три основные группы: грибы поверхностной плесени (плесневые), деревоокрашивающие и дереворазрушающие.

Грибы поверхностной плесени поселяются преимущественно на сырых бревнах, пиломатериалах, а также на различных загрязнениях древесины. Появление налета плесени — один из первых признаков, свидетельствующих о нарушении условий хранения или эксплуатации древесины и изделий из нее. Поверхностные плесени разрушают обычно паренхимные ткани заболони. Грибы родов *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Penicillium* вызывают зеленоватое окрашивание различных оттенков, другие вызывают появление черных пятен — *Aspergillus*, *Alternaria*.

Деревоокрашивающие грибы развиваются часто на древесине при замедленной сушке. Они поражают пиломатериалы, конструкции, деревянную тару, окрашивают древесину в разные цвета. Одной из распространенных является синяя окраска (грибы «синевы»), встречаются также желтая, оранжевая, коричневая и другая окраски. Деревоокрашивающие грибы имеют много общего с поверхностными плесеньями. Как и плесневые грибы, они являются первичными заселяющими древесину сапрофитными организмами, используют преимущественно запасы питательных веществ древесины и в меньшей мере ее структурные элементы, от которых зависят механические свойства древесины. В отличие от плесневых грибов деревоокрашивающие грибы глубоко проникают в заболонь древесины, вызывают глубокое окрашивание ее за счет пигмента, находящегося в гифах, и метаболитов, выделяемых мицелием.

Наибольший ущерб древесине причиняют дереворазрушающие грибы, большинство из которых принадлежит к классу базидиомицетов. К их числу относятся домовые грибы родов *Scrpula*, *Coniophora*, *Coriolus*, *Fomitopsis*; почвенные грибы родов *Serpula*, *Coriolus* и др., атмосферные грибы *Gloeophyllum*, *Fomitopsis* и аэроводные грибы *Chaetomium*, *Coniothecium*, *Ceratocystis* и др. Дереворазрушающие грибы разрушают структурные компоненты — клеточные стенки древесины. Они поражают живую древесину, влажные и сырые древесные материалы и изделия из них. Среди них имеются виды, лучше усваивающие целлюлозу, и виды, которые усваивают и целлюлозу, и лигнин, и гемицеллюлозу.

Домовые грибы быстро развиваются в непроветриваемых подвалах отапливаемых построек, в местах протечек и т. п. Почвенные дереворазрушающие грибы вызывают разрушения деревянных телеграфных и других столбов, свай и опор мостов, шпал, деревоземляных сооружений, длительно находящихся в условиях повышенной влажности. Аэроводные дереворазрушающие грибы вызывают гниение изделий и сооружений из древесины, систематически орошаемых водой, например оросителей градирен; кровли.

Среди поражений древесины, вызываемых дереворазрушающими грибами, по окраске и характеру выделяют три типа гнили: белую, бурую и мягкую (умеренную). Грибы белой гнили разрушают прежде всего лигнин древесины, оставляя целлюлозу и участки твердой древесины. Грибы бурой гнили предпочитают целлюлозу, оставляя бурые участки древесины, которые от прикосновения легко рассыпаются в порошок. Бурая гниль бывает причиной разрушений деревянных конструкций и сооружений. Мягкую гниль вызывают грибы, относящиеся к классу аскомицетов и несовершенных грибов.

Имеется еще один тип биоповреждений древесины — ковровая гниль: мелкие очаги слабых разрушений древесины при таком типе гниения образуют на поперечном разрезе вид пестрого ковра из чередующихся серых, синеватых, коричневых и желтых пятен. Древесина, пораженная гнилью этого типа, легко проницаема для воды и при затяжных дождях может увлажняться на всю глубину.

Помимо дереворазрушающих и других грибов повреждения древесины вызывают насекомые. Хотя в целом ущерб, причиняемый древесине насекомыми, меньше, чем ущерб от грибов, в отдельных случаях и в некоторых районах жуки, и особенно термиты, настолько опасны, что требуют применения специальных мер защиты.

Защита от биоповреждений древесины, деревянных конструкций, сооружений и изделий осуществляется комплексно, включая мероприятия по профилактике биоповреждений путем предотвращения увлажнения древесины (обеспечение вентиляции, эффективной гидроизоляции), рационального использования ее природных защитных свойств путем подбора соответствующих пород и разработки оптимальных конструктивных решений и, наконец, применения химических средств защиты — биоцидов (в практике защиты древесины их называют антисептиками).

Химическая защита древесины от биоповреждений осуществляется в случаях применения древесины в наиболее жестких условиях, например постоянного или периодического контакта с почвой, влажной атмосферой и водой. Обработке биоцидами должно подвергаться около 5—10% всей потребляемой в промышленных целях и строительстве древесины. В результате в несколько раз увеличивается срок службы изделий и сооружений. Так, например, при правильном применении антисептирования древесины срок службы стандартных деревянных домов может в среднем увеличиться с 15 до 50 лет, шпал — с 10 до 25 лет, столбов и опор линий электропередачи и связи — с 12 до 50 лет, деревянных мостов и гидросооружений — с 10 до 40 лет, кузовов грузовых автомобилей и товарных железнодорожных вагонов — с 5 до 20 лет.

Методы защитной обработки древесины от биоповреждений основаны на пропитке древесины жидкими антисептиками или их растворами. Существует много способов защитной пропитки древесины антисептиками, которые можно свести в две группы — пропитка путем погружения древесины в раствор, либо поверхностная обработка распылением антисептика, нанесением кистью и т. п.

При погружении древесины в жидкий антисептик или в раствор твердого антисептика происходит проникновение антисептика в поры, трещины и щели. Плотную древесину с мелкими порами предварительно накалывают на специальных станках для увеличения поглощения антисептика. Пропитку осуществляют в ваннах, заполненных раствором антисептика, в котором выдерживают древесину в течение заданного времени (от нескольких минут до нескольких суток). Более глубокую пропитку и лучшую защиту обеспечивает пропитка горячим растворителем, а затем холодным раствором антисептика. Защищаемое изделие вначале выдерживают в ванне с горячим растворителем. При нагревании находящийся в трещинах и порах древесины воздух расширяется и частично выходит. После этого горячий растворитель сливают и ванну заполняют холодным раствором антисептика, который глубоко проникает в поры благодаря вакууму, создающемуся в порах в результате сжатия воздуха при охлаждении.

Для повышения глубины пропитки антисептиками вакуумирование древесины проводят в специальных автоклавах. После вакуумирования в автоклав подают под давлением холодный или горячий раствор антисептика. Пропитка древесины в автоклавах под давлением, несмотря на сложность процесса и дороговизну оборудования, широко применяется в промышленных масштабах.

При отсутствии сложного оборудования и в некоторых случаях в полевых или других условиях можно применять более простые способы поверхностной обработки древесины антисептиками. Растворы наносят кистями или распылителями, пропитывают с помощью пористого носителя из подставных ванн и другими приемами. Эффективность таких упрощенных способов защиты была показана на примерах защиты от гниения древних уникальных памятников деревянной архитектуры и зодчества в Кяхтах и в других местах.

Водорастворимые антисептики представляют твердые сыпучие порошки, которые применяют в виде водных растворов, суспензий и паст. Основные антисептики этой группы — бихромат натрия (или калия), применяемый обычно в сочетании с сульфатом меди, а также фтористый и кремнефтористый натрий и аммоний, пентахлорфенолят натрия. За рубежом распространен препарат на основе оксида меди и хромового ангидрида — селькур. При пропитке им древесины на поверхности волокон образуется слой кислого хромата меди, который плохо растворяется в воде, этим обеспечивается предохранение от вымывания антисептика в процессе эксплуатации древесины. Недостатком водорастворимых антисептиков является необходимость дополнительной операции по просушке древесины. Кроме того, просушка древесины сопровождается усадкой и образованием трещин. Некоторые водорастворимые антисептики сравнительно легко могут вымываться водой, поэтому обработанная ими древесина может применяться только в закрытых помещениях.

Обычно защиту древесины от биоповреждений совмещают с защитой от возгорания. Для этого применяют специальные биоогнезащитные препараты, в состав которых наряду с антисептиками включают антипирены — хлорид цинка, буру, карбонат натрия, сульфат аммония. Некоторые антипирены усиливают биоцидные свойства антисептиков.

Основными представителями биоцидов, растворимых в органических растворителях, являются пентахлорфенол и нафтенат меди.

Защитной обработке антисептиками подвергают также некоторые материалы, изготавливаемые из древесины, — фанеры, древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты и др. Антисептирование осуществляют путем добавления биоцида в состав клея, применяемого для склеивания листов шпона, или путем пропитки готового материала. Биостойкие материалы получают, например, пропиткой раствором препарата, содержащего 4% салициланилида и 0,4% пентахлорфенолята натрия.

В связи с большими потребностями в антисептиках для защиты древесины и их дефицитом в последнее время ведутся поиски более доступных и дешевых препаратов на основе отходов предприятий химической промышленности. В этих же целях в ряде случаев успешно применяли сточные воды некоторых металлургических, нефтехимических и других заводов.

БУМАГА, КНИГИ

Бумага, книги, как и другие целлюлозные материалы, могут повреждаться микроорганизмами на различных стадиях их изготовления и пользования.

Уже на первой стадии переработки на целлюлозно-бумажных заводах древесной щепы в бумажную массу при температуре 70—80°C интенсивно развиваются термофильные бактерии, вызывающие нарушения технологического процесса. Для борьбы с ними к бумажной массе добавляют различные биоциды, например пентахлорфенолят натрия и буру. В бумажной пульпе, получаемой при получении бумаги, развиваются сообщества микроорганизмов сложного состава. Биоповреждения на этой стадии проявляются в образовании сгустков комков и слизи, которые резко портят качество бумаги на последующих стадиях. Эффективными биоцидами, предотвращающими слизееобразование, служат диметилдитиокарбамат кальция, катапин и др.

На заключительных стадиях изготовления бумаги производится обезживание бумажной массы и сушка бумажного полотна при 120°. В этих условиях происходит стерилизация бумаги от микрофлоры. Выходящая из бумажных машин бумага практически не содержит микроорганизмов. Заселение бумаги микроорганизмами начинается за пределами ее производства — при упаковке, в процессе транспортировки и хранения, при переработке и использовании бумажной продукции.

На поверхности новых, не бывших в употреблении книг бывает, как правило, незначительное количество микроорганизмов. Но стоит им побывать некоторое время в пользовании, количество спор грибов резко возрастает. Прорастание спор и развитие грибов происходит при содержании в бумаге 8—10% воды и более. Это соответствует значению относительной влажности воздуха помещения, где находятся книги, выше 65%. В процессе роста грибы выделяют дополнительное количество воды и другие метаболиты. Основным агрессивным химическим фактором среди продуктов метаболизма грибов являются целлюлолитические ферменты, вызывающие глубокие повреждения и разрушения бумаги.

В результате многолетних исследований видового состава сообществ грибов, развивающихся на бумаге и книгах, были выделены следующие основные группы: 1) грибы, постоянно встречающиеся на бумаге, проникающие в волокно и разрушающие бумагу, — *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *A. terreus*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium* и др. (более 25 ви-

дов); 2) грибы, постоянно встречающиеся на бумаге и вызывающие отдельные поверхностные повреждения, — *Aspergillus candidus*, *A. clavatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *Chaetomium elatum*, *Penicillium canescens*, *Trichoderma roseum* и др. (более 20 видов); 3) грибы, усваивающие вспомогательные компоненты бумаги (целлофан, канифоль, воск, парафин и др.), — *Botryotrichum piluliferum*, *Oidium dioxanii*, *O. rubiginosum* и другие виды в зависимости от химического состава компонентов; 4) специфические виды грибов, характерные для данного региона или биотопа. Грибы данной группы иногда могут преобладать в микоценозе, например *Mucor spinosus*, *Penicillium commune*, *P. psittacinum* и др.

Биоповреждения бумаги грибами зависят не только от агрессивности целлюлолитических ферментов тех или иных видов грибов по отношению к целлюлозе как субстрату. На стадии прорастания спор прежде всего важны физические и структурные особенности бумаги как капиллярно-пористой системы с различной гидрофильностью и влагоемкостью.

Обработка бумаги синтетическими полимерными смолами с гидрофобными свойствами, например полиэтиленом, приводит к образованию защитного барьера, предохраняющего бумагу от повреждения грибами эффективнее, чем с помощью фунгицидов.

Меры по защите бумаги и книг от биоповреждений включают кондиционирование воздуха с целью поддержания оптимального температурно-влажностного режима в помещении, где хранятся и используются книги, не допуская, прежде всего, увлажнения бумаги; очистку воздуха от пыли и, в случае необходимости, фильтрацию и обеззараживание воздуха, например, с помощью ультрафиолетового света; проведение других санитарно-гигиенических мероприятий, предотвращающих загрязнение и заражение книг и бумаги, и, наконец, применение химических средств защиты — биоцидов для поверхностной обработки бумаги или пораженных книг или для изготовления антисептированной бумаги. Из биоцидов применяют салициланилид, пентахлорфенолят натрия, полиэтиленмин, полигексаметиленгуанидин. Их используют лишь в тех случаях, когда с помощью санитарно-гигиенических мероприятий нельзя предотвратить опасность биоповреждений, например в районах теплого и влажного тропического климата.

При реставрации книг и архивных документов применяют также фунгициды, как нипагин (метиловый эфир *n*-оксibenзойной кислоты), *n*-оксидифенилметан, *n*-хлор-*m*-крезол, трилан, гексабутилдиистанноксан.

ТЕКСТИЛЬНЫЕ ВОЛОКНА И МАТЕРИАЛЫ

К текстильным материалам относят вырабатываемые из волокон и нитей ткани и нетканые материалы, трикотаж, войлок, сети, канаты и др. Текстильные волокна подразделяют на натуральные (целлюлозные и белковые), химические (искусственные и синтетические) и минеральные (асбестовые, базальтовые, стеклянные).

Текстильные материалы и волокна могут подвергаться повреждению микроорганизмами, насекомыми, грызунами и другими агентами биоповреждений. Стойкость волокон и тканей к биоповреждениям зависит прежде всего от химической природы волокон, из которых они изготовлены. Чаще приходится сталкиваться с микробиологическими повреждениями текстильных материалов на основе натуральных волокон — хлопчатобумажных, льняных и др., утилизируемых сапрофитной микрофлорой в круговороте биогенных веществ. Химические волокна, особенно синтетические, и синтетические ткани более биостойки, но и к ним адаптируются микроорганизмы-биодеструкторы.

В условиях повышенной влажности и температуры и ограниченного воздухообмена микроорганизмы поражают волокна и ткани на разных этапах их изготовления и применения, начиная с первичной переработки волокон, включая прядение, ткачество, отделку и хранение, транспортировку и эксплуатацию текстильных материалов и изделий из них. Интенсивность биоповреждений волокон и тканей резко возрастает при контакте с почвой и водой, особенно в районах с теплым и влажным климатом.

Нестойкие к микроорганизмам хлопчатобумажные волокна и ткани нуждаются в защите от биоповреждений. В первую очередь это относится к тканям технического назначения — брезенты, палатки, тенты, паруса, рыболовные сети, канаты и упаковочные материалы.

Текстильные материалы поражаются бактериями, актиномицетами и микроскопическими грибами. Например, *Achromobacter sp.*, *Cellulomonas sp.*, *Cellulobacillus mitogenes*, *Cellvibrio fulvus* и другие вызывают биоповреждения волокон, тканей и нетканых материалов, особенно в почве. Из актиномицетов вызывают поражения материалов в почве и на воздухе микромонопоры и микобактерии *Micromonospora*, *Micropolyspora*, *Actinobifinda*. Среди грибов, повреждающих текстильные материалы в атмосфере и в почве, встречаются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Trichoderma* и др.

Характерный признак поражения текстильных материалов грибами — появление желто-оранжевых, красно-фиолетовых, зелено-коричневых пятен в зависимости от цвета пигмента, вырабатываемого грибами, и цвета ткани. При взаимодействии пигмента грибов с красителем ткани возникают пятна разных тонов и оттенков, которые не удаляются при стирке или окислении перекисью водорода. Иногда от них можно избавиться обработкой горячим раствором гидросульфита натрия. Появление пятен на текстильных материалах, как правило, сопровождается появлением сильного затхлого запаха.

Биоповреждения текстильных материалов проявляются не только в появлении пятен и запаха, но и в изменении прочностных свойств, чаще в снижении механической прочности и в потере массы, вследствие разрушения волокон экзогенными метаболитами микроорганизмов — ферментами, органическими кислотами и др.

Натуральные целлюлозные волокна и материалы. Натуральными целлюлозными волокнами являются хлопчатобумажные, лубяные, джутовые и некоторые другие волокна растительного происхождения. Хлопковые волокна наиболее богаты целлюлозой, которая составляет около 90% от их массы. Лубяные волокна — льняные, конопляные содержат несколько меньше целлюлозы — около 70%. Они содержат также компоненты, некоторые из которых повышают биостойкость волокон.

Сырой хлопок поражается микроорганизмами уже при сборе и последующем хранении. Скорость инфицирования увеличивается при контакте с почвой и повышении влажности хлопка. Эффективную защиту обеспечивает осушка; если поддерживать содержание воды в хлопке ниже 8%, то рост микроорганизмов прекращается.

Льняные, конопляные (пенька) и другие лубяные волокна и ткани на их основе содержат помимо целлюлозы около 10% лигнина, а также воск и микроколичества антибиотиков. Эти компоненты более биостойки, чем целлюлоза и, как правило, положительно влияют на биостойкость лубяных волокон. В целом же считается, что по биостойкости лубяные волокна находятся примерно на одном уровне с хлопчатобумажными.

На биостойкость целлюлозных волокон большое влияние оказывает последующая обработка их отделочными растворами — шлихтой и аппретами, содержащими в своем составе крахмал, муку, желатин, смолы и другие вещества, придающие текстильным материалам износостойкость, несминаемость, огнестойкость и другие ценные свойства. Многие из этих веществ представляют хорошую питательную среду для микроорганизмов, поэтому на стадии шлифования и аппретирования волокон обращается особое внимание на строгое соблюдение санитарно-гигиенических и технологических мер, предотвращающих опасность инфицирования тканей микроорганизмами и в дальнейшем их биоповреждения.

Натуральные белковые волокна и материалы. К натуральным белковым волокнам относят казеиновое волокно — основа шерстяного волокна, и фиброиновое волокно — основа натурального шелка. Фиброиновое волокно более биостойкое, чем казеиновое, поэтому шелковые ткани в меньшей мере подвержены микробиологическим повреждениям, чем шерстяные. Помимо микроорганизмов, для шерсти большую опасность представляют насекомые-кератофаги, особенно моль.

Микробиологическое разрушение кератина, образующего казеиновое волокно, происходит под действием протеолитических ферментов, главным образом трипсина. Ферментативное расщепление кератина по пептидным связям может идти вплоть до отдельных аминокислот.

Заселение шерсти микроорганизмами происходит еще до стрижки животного. Некоторые из этих микроорганизмов способны не только сохранять жизнеспособность в процессе технологических операций производства пряжи, но и продолжать разрушительную деятельность на шерстяных тканях и в готовых изделиях.

Микробиологическое повреждение шерсти и шерстяных изделий проявляется в разрыхлении и расщеплении волокна, появлении окрашенных пятен и гнилостного запаха. Повышенная влажность и контакт шерсти с почвой также способствуют развитию биоповреждений. Особую опасность представляют микроорганизмы для недостаточно высушенной шерсти. В ее кипах в процессе хранения или транспортировки могут активно развиваться термофильные бактерии, жизнедеятельность которых сопровождается выделением большого количества тепла, приводящего к сильному разогреванию вплоть до самовозгорания.

Загрязнения тканей и изделий из шерстяных тканей являются первичными очагами инфицирования их бактериями и грибами и в последующем биоповреждения. Своевременная стирка и чистка шерстяных изделий — одно из важных условий предохранения их от микробиологических повреждений.

Искусственные волокна и ткани получают путем химической переработки натуральных целлюлозных и иногда белковых волокон. К искусственным волокнам на основе целлюлозы относят вискозные, ацетатные и другие волокна, которые получили широкое распространение. Белковые казеиновые волокна имеют довольно ограниченное применение.

Вискозные волокна представляют собой ориентированные волокна гидратцеллюлозы, получаемые химической обработкой древесной и другой целлюлозы. По химической структуре и микробиологической стойкости они близки к обычным целлюлозным хлопчатобумажным волокнам. Изготовленные из вискозных волокон искусственный вискозный шелк, штапель, кордная лента и другие материалы не отличаются высокой биостойкостью, особенно при контакте с почвой. Так, вискозный штапель на 8-е сутки почвенных испытаний теряет прочность на 30—35% от исходной. В тех же условиях вискозный шелк сохраняет 60—70% исходной прочности на 12-е сутки почвенных испытаний.

Ацетатные волокна получают из ацетилцеллюлозы — продукта этерификации целлюлозы (хлопковый пух, древесная целлюлоза) уксусным ангидридом. Они более стойкие к повреждающему действию целлюлолитических ферментов бактерий и микроскопических грибов, поскольку в отличие от обычных целлюлозных волокон, имеющих в макромолекулах боковые гидроксильные группы, макромолекулы ацетатных волокон имеют боковые ацетатные группы, которые оказывают стерические препятствия взаимодействию макромолекул с целлюлолитическими ферментами.

Синтетические волокна и ткани. По химической структуре принципиально отличаются от натуральных волокон и полученных из целлюлозы искусственных химических волокон и, будучи для микроорганизмов инородным субстратом, повреждаются ими труднее. После появления синтетических тканей примерно в 50-е годы предполагали, что они «вечные» и не подвергаются утилизации микроорганизмами. Однако со временем установили, что, во-первых, микроорганизмы, хотя и медленнее, но все же способны заселять искус-

ственные ткани и утилизировать их углерод в процессе развития, т. е. вызывать биоповреждения, и, во-вторых, среди синтетических тканей имеются более и менее стойкие к биоповреждениям. Более стойкими к микробиологическим повреждениям являются волокна на основе карбоцепных полимеров — полиолефинов (политен из полиэтилена, моплен из полипропилена), полихлорвинила (хлорин, саран), полифторвинила (фторлон), полиакрилонитрила (нитрон, орлон), поливинилового спирта (винилон). Менее биостойки волокна на основе гетероцепных полимеров — полиамидные (нейлон, капрон), полиэфирные (лавсан, терилен), полиуретановые (перлон) и др.

В сравнительных почвенных испытаниях на биостойкость искусственных и синтетических волокон было показано, что вискозное волокно полностью разрушается на 17-е сутки, на лавсане колонии бактерий и грибов появляются на 20-е сутки, нейлон обрастает мицелием грибов на 30-е сутки. Наиболее биостойкими оказались хлорин и фторлон, начальные признаки биоповреждений которых проявлялись только через 3 месяца после начала испытаний.

Среди микроорганизмов, повреждающих синтетические волокна, идентифицированы грибы *Trichoderma lignorum*, которые на начальных стадиях развиваются за счет замасливателей и аппретов, не повреждая волокна, затем опутывают их мицелием, разрыхляя нити и тем самым снижают прочность тканей.

При изучении биостойкости тканей из нитрона, лавсана и капрона было установлено, что почвенные грибы и бактерии оказывают примерно одинаковое влияние на характеристики этих тканей, вызывая набухание волокон на 20—25%, снижение прочности на 10—15% и уменьшение относительно удлинения на 15—20%. При этом в целом нитрон показал лучшие значения биостойкости, чем лавсан и капрон.

Синтетические ткани и волокна устойчивы к действию микроорганизмов в морской воде. Некоторые из них сохраняют прочность в течение 3—4 лет, поэтому из них делают рыболовные сети, канаты.

Минеральные волокна характеризуются высокой биостойкостью.

Защита волокон и тканей от биоповреждений. Существует несколько групп способов защиты волокон и текстильных материалов от микробиологических повреждений. В одну группу входят способы, основанные на обработке биоцидными материалами (фунгицидами и бактерицидами) текстильных материалов, вторую группу составляют способы безбиоцидной защиты — путем химической модификации волокон и нанесения на них защитных покрытий, предотвращающих контакт волокон с опасной микрофлорой.

Защита с помощью биоцидов является традиционным и проверенным временем способом, однако биоциды могут быть токсичны для человека и окружающей среды и долговечность такой защиты не всегда высокая. Химическая модификация и нанесение защитных покрытий составляют более безопасную для человека и окружающей среды группу способов защиты. Одним из наиболее эффектив-

ных способов химической модификации целлюлозных волокон является обработка их уксусным ангидридом. Полученное волокно несколько напоминает искусственное ацетатное, но отличается от него тем, что ацетатные группы находятся лишь на поверхности волокна. В сравнительном опыте ацетилированное волокно сохранило полностью прочность на разрыв через 6 месяцев пребывания в почве, а обычное целлюлозное волокно из необработанного хлопка разрушилось в течение недели.

Наиболее распространенными являются медьсодержащие биоциды. Устойчивость к микроорганизмам хлопчатобумажным тканям придают обработкой их 2—3%-ным медно-аммиачным раствором. В результате набухания и поверхностного растворения волокна медь проникает в волокно и обеспечивает длительную защиту. Для более прочного закрепления меди на волокне их обрабатывают солями циркония. Ткани из таких волокон не разрушаются почвенными микроорганизмами в наиболее жестких условиях.

Палаточные, брезентовые и другие технические ткани для повышения биостойкости чаще обрабатывают медно-хромово-таннидным препаратом. Вначале ткани пропитывают дубовым или еловым экстрактом, содержащим 30—50% таннидов, а затем смесью растворов сернокислой меди и бихромата калия. Содержание на ткани 0,5—1% меди и 0,3—0,8% хрома наряду с защитой от микроорганизмов повышает устойчивость к действию света и влаги.

Среди солей меди и органических кислот лучшими биоцидами являются стеарат меди (медное мыло) и нафтенат меди. Эти препараты не вымываются при стирке. Недостатком их является окрашивание ткани в сине-зеленый цвет и снижение стойкости целлюлозных волокон к действию солнечного света.

8-Оксихинолят меди — также эффективный фунгицид и бактерицид. Он окрашивает ткани в желто-зеленый цвет, при этом на свету окраска темнеет до коричневого цвета.

Соединения ртути, например фенилацетат ртути, раньше применялись довольно широко, однако из-за токсичности ртути почти перестали применяться.

В последнее время большой интерес вызвали биоцидные органические соединения олова. Высокую эффективность защиты техническим тканям обеспечивает 0,1% гексабутилдистанноксана.

Большую группу биоцидов для защиты волокон и тканей составляют хлорированные фенолы и их производные: пентахлорфенолят натрия и эфир пентахлорфенола и лауриновой кислоты и др. Оба препарата, в особенности последний, находят широкое применение для защиты текстильных материалов. Ткани, обработанные пентахлорфениллауратом (петокс К-70), сохранили полностью прочность в течение пяти недель почвенных испытаний, а обработанные силициланилидом и 8-оксихинолятом меди разрушались в течение трех недель.

Одним из хороших антимикробных препаратов для обработки текстильных материалов является салициланилид (ширлан). Он обладает достаточно высокими фунгицидными и бактерицидными

свойствами, не имеет запаха, не окрашивает ткани, безопасен в обращении. Для повышения срока защиты необходимо дополнительно гидрофобизировать материалы, при этом происходит закрепление салициланилида на ткани. Для защиты льняных тканей от биоповреждений их обрабатывают медно-хромово-таннидным препаратом (светопрочная хакикомбинированная пропитка). Шерстяные материалы нуждаются в защите от повреждения микроорганизмами на ранних стадиях обработки и переработки шерсти и в случае наличия сильных загрязнений на шерсти. Среди биоцидов для шерсти можно назвать фторид и кремнефторид натрия, салициланилид, бета-нафтол. Для предохранения от плесени шерстяных одеял во влажных тропиках их обрабатывают 1%-ным раствором бихромата калия. Одними из современных биоцидных препаратов для шерсти являются фунгицидные красители — красный фунгицидный, кислотный желтый фунгицидный и др.

НАТУРАЛЬНАЯ КОЖА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ КОЖИ

Натуральная кожа, как ее часто называют для отличия от искусственной кожи и кожзаменителей, является исторически одним из первых известных человеку материалов, которые он применял и применяет до сих пор для изготовления одежды, обуви, предметов быта и технических изделий. Невыделанная, сырая кожа быстро разрушается под действием факторов окружающей среды, прежде всего биологических факторов. Являясь продуктом живой природы, она вовлекается в круговорот биогенных веществ бактериями, плесневыми грибами, насекомыми и другими живыми организмами, для которых она служит субстратом, источником питания. Товарные качества она приобретает в результате выделки, многостадийной обработки химическими реагентами. Одновременно повышается и ее биостойкость.

Обычная обработка не обеспечивает требуемой биостойкости при эксплуатации кожи и изделий из нее в условиях повышенной опасности биоповреждений (в тропическом и субтропическом климате, в специфических производственных условиях). В таких случаях кожа и изделия из нее подвергаются дополнительной защите от биоповреждений.

Кожевенное сырье и его переработки. Кожевенным сырьем являются отделенные от туши животных шкуры, состоящие из кожного покрова (кожевой ткани) и шерстяного (волосяного) покрова. Парные (свежеснятые) шкуры с внутренней стороны (подкожно-жирового слоя) являются стерильными. Со стороны шерстяного покрова на различных участках шкуры может находиться от 5 до 500 млн. микроорганизмов на 1 см².

Во избежание заражения микроорганизмами внутреннего слоя шкуры, наименее биостойкого, парная шкура должна быть сразу подвергнута консервированию. Если это не будет сделано в течение 2 ч после снятия с туши, то кожа потеряет товарные качества.

Кожевенное сырье, пораженное микроорганизмами в результате несвоевременного или неправильного консервирования и хранения, называют «бактериальным». Бактериальные шкуры покрываются слизью со стороны подкожной клетчатки, отслаивается эпидермис, происходит теклость волосяного покрова (обезволаживание), пигментация (предины), появляется неприятный запах, падает механическая прочность вплоть до полного разрушения.

Консервирование парных шкур для предотвращения гнилостных процессов осуществляют тремя способами: пресно-сухим, сухо-солевым и мокросолевым. Пресно-сухое и сухо-соленое консервирование основано на подавлении жизнедеятельности бактерий и активности протеолитических ферментов путем снижения влажности сырья до 18—20% обработкой сухим хлоридом натрия (поваренной солью) и кремнефторидом натрия. Мокросоленое консервирование осуществляют с помощью хлорида натрия засолкой врасстил с внутренней стороны шкуры (мездры) или обработкой насыщенным водным раствором хлорида натрия (тузлукованием) с последующей подсолкой шкур в штабелях. При мокросолении основная часть неспорных бактерий погибает, а развитие и размножение других прекращается либо резко затормаживается.

Консервирующее действие хлорида натрия при сухосолении основано на его обезвоживающем действии на шкуры, а при мокросолении — на нарушении внутриклеточных процессов в результате диффузии и осмоса раствора хлорида натрия в клетки. Однако хлорид натрия не обеспечивает полной защиты от микроорганизмов и даже сам может служить субстратом для развития галофильных (солелюбивых) бактерий, таких, как *Actinobacter galophilum*, *Phlaeobacterium galophilum* и др., и солетолерантных бактерий, например *Bacillus subtilis*, *B. mesentericus* и др. Эти бактерии обладают протеолитической активностью. Для защиты от них при тузлуковании рекомендуют добавлять в качестве бактерицида метабисульфит натрия.

Консервированные шкуры при хранении в сырых помещениях могут подвергаться повреждению плесневыми грибами. В результате теряется прочность, на поверхности появляется белый или зеленоватый налет. Сырые кожи и шкуры могут быть заражены патогенными микроорганизмами. Обеззараживание таких материалов проводят с помощью фторида и кремнефторида натрия.

На кожевенных заводах наибольшее распространение в качестве фунгицидов получили парадихлорбензол и кремнефторид натрия. Защиту кожевенного и пушно-мехового сырья от насекомых (моль, жуки-кожееды) в процессе хранения обеспечивают с помощью таких инсектицидов, как неопинамин, гардона, иодфенфос. В последнее время рекомендован инсектицид фоксим (препарат аэроантимоль).

Инсектицидными свойствами обладают парадихлорбензол и пентахлорфенолят натрия.

Переработка кожевенного сырья в готовую кожу — многостадийный процесс. Отдельные стадии могут включать несколько этапов.

На различных стадиях процесса переработки могут создаваться более или менее благоприятные условия для роста микроорганизмов на коже.

Опасность повреждения кожи бактериями появляется уже на первой стадии (отмоки), когда содержание соли в коже резко снижается, что способствует поселению и развитию бактерий. Повреждения бактериями в этом случае начинаются с лицевой поверхности кожи. Из 10 видов выделенных на этой стадии бактерий более половины выделяют протеолитические ферменты. В качестве бактерицида на этой стадии используют кремнефторид натрия.

На следующей стадии зольения шкуры обрабатывают раствором гашеной извести для удаления межволоконных белковых веществ и разрыхления волокнистой структуры дермы. При этом неспорообразующие бактерии погибают в свежей известковой ванне, а спорообразующие — прекращают рост и размножение.

Лишенные волосного покрова шкуры животных (гольё) подвергаются далее преддубильным операциям — обеззоливанию и мягчению. На этой стадии создаются благоприятные условия для роста бактерий (температура 36—38°, рН 8), во избежание биоповреждений необходимо контролировать продолжительность операций и не допускать превышения установленного времени. В зависимости от состава мягчительной жидкости были выделены бактерии родов *Staphylococcus*, *Sarcina*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Bacillus*.

На следующей операции обработки кожи — дублении — опасность биоповреждения снижается, поскольку первый этап этой операции — пикелевание (обработка пикелем — раствором серной кислоты и хлорида натрия) приводит к резкому повышению кислотности до рН 1—2. Пикелевание придает мягкость и пластичность сырью и обеспечивает консервирование голья для кратковременного хранения и транспортировки. Последующая операция хромового дубления с помощью основного сульфата хрома проводится в условиях, также неблагоприятных для жизнедеятельности многих микроорганизмов (рН 2—3). Однако опасность биоповреждения в процессе дубления и получающегося после этой операции выдубленного полуфабриката не исключается. Агентами биоповреждения, выделенными из дубильных растворов и с поверхности полуфабриката, могут быть бактерии видов *Leuconstac mesenteroides*, *L. dextranicum*, *B. mesentericus* и плесневые грибы: *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. unguis*, *A. terreus*, *Penicillium chrisogenum*, *P. cyclopium*. В качестве биоцидов на этой стадии могут применяться пентахлорфенолят натрия и хлорамин Б.

Заражение кож плесневыми грибами усиливается на последующих операциях растительного дубления и жирования. Растительное дубление осуществляют с помощью натуральных растительных таннидов и синтетических дубящих веществ — синтанов. Танниды представляют собой производные фенолов и обладают некоторым бактерицидным действием. Однако некоторые плесневые грибы могут вызывать гидролиз эстеротаннидов и их седиментацию, в результате

чего нарушается процесс растительного дубления и ухудшается качество кожи.

Синтаны бывают двух типов — заменители таннидов и вспомогательные. Синтаны первого типа получают из фенольного сырья и наряду с дубящими свойствами они обеспечивают некоторую защиту кожи от биоповреждений. Синтаны второго типа получают из углеводородного сырья, они биоцидными свойствами не обладают. В кожевенной промышленности отмечались случаи сильного поражения плесневыми грибами полуфабриката после растительного дубления с применением синтанов, изготовленных из углеводородного сырья.

Технология выработки кож для низа обуви, шорно-седельных и юфтевых хромрастительного дубления предусматривает проведение растительного дубления с расходом дубящих веществ в пределах 26—34% от массы полуфабриката. Зараженный на этой стадии плесневыми грибами полуфабрикат требует обязательной обработки фунгицидами. В противном случае при транспортировке, хранении и эксплуатации в результате роста и жизнедеятельности плесневых грибов товарные и эксплуатационные качества кожи и изделий из нее ухудшаются.

Для придания коже мягкости, эластичности и главным образом водостойкости на следующей после дубления стадии проводят жирование. В кожу вводят животные, растительные и синтетические жиры, минеральные масла. Именно на стадии жирования в состав кожи вводят биоциды в тех случаях, когда имеется опасность повреждения микроорганизмами из-за недостаточной биостойкости кожевенного сырья или полуфабрикатов или когда требуется придать коже повышенную биостойкость для эксплуатации ее в тропических районах, или для увеличения срока хранения изделий при повышенной влажности.

Рассмотренные случаи биоповреждений кожи и защиты ее относились к защите сырья или полуфабриката. Эти случаи можно назвать примерами межоперационной защиты от биоповреждений, а введение биоцидов на стадии жирования должно обеспечить защиту в процессе эксплуатации кожи.

Завершающая стадия переработки кожевенного сырья — отделка. Отделочное покрытие, наносимое на кожевенный полуфабрикат после жирования, состоит из нескольких слоев. В его состав входят белки (казеин, кровяной альбумин), полиакрилаты, лаки на основе нитроцеллюлозы и другие компоненты. Изучение биостойкости юфтевых, шорно-седельных и хромовых кож, обработанных на стадии жирования 2-оксидифенилом, показало, что на отделочном покрытии кож появляется плесень. Появление плесени на изделиях из кожи, содержащих в качестве фунгицида 2-оксидифенил, может быть связано не только с недостаточной эффективностью этого фунгицида, но и с низкой грибоустойчивостью отделочных покрытий.

Защита кожи и изделий из нее от биоповреждений. Защита кожи от плесневых грибов осуществляется с помощью фунгицидов, которые рекомендуют вводить в дерму на стадии жирования.

В качестве фунгицидов для защиты от биоповреждения кожи за рубежом применяют *n*-нитрофенол, *n*-хлор-*m*-крезол, пентахлорфенол и некоторые его производные, 2-оксидифенил, салициланилид, бета-нафтол, бета-оксинафтаальдегид и некоторые другие соединения.

n-Нитрофенол (0,3 масс. %) рекомендован в США для защиты от биоповреждений кожаной армейской обуви для умеренного и тропического климата.

n-Хлор-*m*-крезол применяют в качестве фунгицида для защиты кожи в течение нескольких десятилетий. Препарат выпускается под торговой маркой «превентол СКМ».

2-Оксидифенил известен в качестве фунгицида для защиты кожи со второй мировой войны. Он обладает хорошими технологическими свойствами, что обеспечило длительное применение его в кожаной промышленности.

Одним из новых биоцидов, испытанных для защиты кожи от поражения плесневыми грибами, является 4, 5, 6-трихлорбензоксазолинон-2.

Для предохранения от грибковых болезней при использовании бывшей в употреблении армейской обуви ее рекомендуют обрабатывать последовательно формалином, мыльным раствором и смазывать маслом с добавкой гексахлорофена или пентахлорфенона. Снаружи армейскую обувь обрабатывают жировой смазкой с добавкой 0,8% *n*-хлор-*m*-ксиленона и 0,8% *n*-нитрофенола.

ЗАЩИТА ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Микроорганизмы в условиях повышенной влажности могут повреждать детали и узлы радиоэлектронных, оптических и других приборов, если в них имеются негрибостойкие материалы или загрязнения.

Появление мицелия плесневых грибов на поверхности радиоэлектронных приборов может приводить не только к повреждению самих материалов и ухудшению их электрофизических свойств, но и к созданию в этих приборах повышенной влажности из-за выделения воды мицелием, к замыканию контактов и т. п.

Большие скопления насекомых часто служат причиной коротких замыканий и других нарушений работы приборов. Отмечались неоднократные случаи нарушения работы аварийной сигнализации, крупных электронных и вычислительных машин и различных электрических приборов, вызванные тараканами, поселившимися в приборах.

Для оптических приборов опасны биоповреждения другого характера. Хотя силикатные стекла не являются субстратом для грибов, но на их поверхность может попадать мицелий при разрастании грибов на других деталях оптических приборов (кожа-

ные футляры, резиновые прокладки, органические смазки и клеи, окрашенные детали и пр.) и на загрязнениях.

Защиту приборов от биоповреждений осуществляют конструктивными, санитарно-гигиеническими и химическими методами. К конструкционным относится правильный подбор материалов на стадии конструирования приборов, герметизация приборов с целью предохранения от попадания влаги, устройство сеток и заглушек в отверстиях приборов, предотвращающих от попадания внутрь насекомых и других животных, вентиляция отдельных узлов приборов и т. п. В некоторых случаях используют специальные фильтры-поглотители и осушительные патроны с силикагелем для борьбы с влагой воздуха.

Для защиты сложных конструкций, состоящих из разнородных материалов, могут применяться летучие фунгициды. Они представляют собой возгоняющиеся твердые вещества, применяемые в виде таблеток или порошков, или летучие жидкости, которыми пропитывают пористые или волокнистые носители (бумага, поролон, силикагель и т. п.).

Летучие фунгициды применяют только внутри герметичных объемов приборов, при упаковке в герметичную тару (футляры) и т. п. В таком замкнутом объеме летучее вещество, испаряясь, заполняет все труднодоступные места и адсорбируется на поверхности защищаемого прибора. В качестве летучих фунгицидов положительно зарекомендовали себя этилмеркуртиосалицилат натрия (мертиолат) и метакрезилацетат (крезатин). Недостатком этих препаратов является их коррозионная активность по отношению к алюминиевым (мертиолата) и медным сплавам (крезатина).

Летучие фунгициды могут применяться вместе с летучими ингибиторами коррозии для комплексной защиты текстильных изделий от биоповреждений и коррозии при хранении на консервации и транспортировке. С этой целью могут применяться упаковочные материалы, пропитанные летучими фунгицидами и ингибиторами коррозии. Среди летучих ингибиторов коррозии имеются соединения с фунгицидными свойствами, например нитрит дициклогексиламина, метанитробензоат гексаметиленамины.

8

БИОЦИДЫ- СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

Одним из наиболее распространенных способов защиты материалов от биоповреждений является использование химических соединений (биоцидов), обладающих биоцидным действием.

Необходимость поиска способов защиты материалов от биоповреждений в современном понимании этой проблемы была поставлена перед материаловедами, химиками и биологами только в 20—30-е годы XX в. В это время были начаты поиски биоцидов для защиты таких материалов, как текстиль, натуральная кожа, бумага, клеи и т. д. Сокращение запасов природных ресурсов одновременно с ростом производства и потребления различных материалов и изделий заставляют еще и еще раз обращаться к поиску эффективных средств защиты от биоповреждений как одному из важных путей продления сроков эксплуатации материалов и технических изделий и экономии многих дефицитных материалов.

В общей системе средств борьбы с биоповреждениями материалов ведущее место занимают химические средства. Использование биоцидных веществ отличают высокая эффективность и разнообразие форм применения: соединения могут вводиться непосредственно в состав защищаемых материалов, наноситься на их поверхность, служить присадками к пропиточным и консервационно-смазочным составам и компонентом воздушной или водной среды и т. д. Известно несколько тысяч таких соединений и их композиций.

ТРЕБОВАНИЯ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЦИДОВ

Общим требованием, предъявляемым к любому современному биоциду, является высокая активность против вредных биофакторов в сочетании с безопасностью в обращении и отсутствием от-

рицательного воздействия на окружающую среду. Опасность, связанная с применением биоцидов, может возникать на предприятиях, выпускающих защищенные материалы и изделия из них, и при использовании готовой продукции.

Биоциды должны быть доступными и относительно дешевыми для того, чтобы их использование не влекло за собой ощутимого удорожания материала. Поэтому уже на начальных этапах разработки нового биоцида важно исходить из возможных потребностей в нем для конкретных областей применения и потенциальных возможностей химической и других отраслей промышленности в удовлетворении этих потребностей.

Важно также, чтобы применение биоцида не оказывало влияние на физико-химические, физико-механические и другие свойства материала, не ускоряло его старение, не вызывало коррозию, т. е. не усложняло технологический процесс производства материала и переработки его в изделия.

Помимо указанных общих требований к биоцидам предъявляют специальные требования, связанные с конкретными особенностями защищаемого материала, технологией его производства и условиями эксплуатации технического изделия. Например, биоциды, предназначенные для защиты от биоповреждений полимерных и лакокрасочных материалов и применяемые в качестве компонентов этих материалов, должны: легко растворяться в органических растворителях, совмещаться с другими компонентами материала или равномерно распределяться в них с образованием стойкой эмульсии или суспензии; быть неполярными соединениями, если к материалу предъявляются особые требования в отношении электрофизических свойств; не вступать во взаимодействие с защищаемым материалом или его составными частями.

Специфические требования предъявляются к биоцидам для древесины, которые называют также антисептиками древесины. Они должны легко проникать и прочно закрепляться в древесине отчасти за счет химического взаимодействия с ней. При этом негативно влиять на способность древесины склеиваться и окрашиваться, если она предназначена для отделочных работ и изготовления мебели.

К биоцидам предъявляют следующие гигиенические требования:

1) применяемые препараты должны быть малотоксичными для теплокровных животных и человека;

2) не должны использоваться вещества с резко выраженным кумулятивным действием, а также представляющие реальную опасность канцерогенности, мутагенности, эмбриотоксичности и аллергенности.

В последние годы в нашей стране огромное внимание уделяется строго регламентированному применению химических средств защиты, исключающему загрязнение окружающей среды и отрицательное влияние на человека и полезные живые организмы.

КЛАССИФИКАЦИЯ БИОЦИДОВ

Химические средства защиты от биоповреждений классифицируют по биологическому действию, назначению и объектам применения, химическому составу. По биологическому (биоцидному) действию к химическим средствам защиты от биоповреждений относят: 1) фунгициды — для защиты материалов и изделий от повреждения грибами (главным образом плесневыми); 2) бактерициды — для защиты от гнилостных, слизиобразующих, кислотообразующих и других бактерий; 3) альгициды и моллюскициды — для защиты морских судов, гидротехнических сооружений, систем промышленного водоснабжения и мелиорации от обрастания водорослями и моллюсками; 4) инсектициды — для защиты древесины, полимерных, текстильных и других материалов от повреждений термитами, древоточцами, полями, кожеедами и другими насекомыми; 5) гербициды — для защиты зданий, сооружений, в особенности памятников архитектуры, городских территорий и строительных площадок, обочин автомобильных и насыпей железных дорог, аэродромных взлетно-посадочных полос от высших растений; 6) зооциды — для защиты от позвоночных животных — вредителей, родентициды — для защиты от крыс, мышей и других грызунов, авициды — для защиты от птиц, причиняющих ущерб в городах и особенно на аэродромах.

По техническому назначению и применению биоциды классифицируют по следующим группам материалов: 1) древесина, бумага, картон и другие материалы на основе древесины; 2) синтетические материалы (пластики, резины, пленки, компаунды, искусственные кожи и т. д.); 3) текстильные материалы; 4) натуральная кожа и изделия из нее; 5) нефтепродукты (топлива, масла, смазки); 6) смазочно-охлаждающие жидкости; 7) лакокрасочные материалы и покрытия (в том числе необрастающие) и др.

Эта классификация в определенной мере условна, поскольку многие биоциды по комплексу биоцидных и физико-химических свойств могут использоваться для защиты нескольких групп материалов.

Классификация биоцидов по химическому составу включает следующие группы: 1) неорганические соединения; 2) углеводороды, галогенуглеводороды и нитросоединения; 3) спирты, фенолы и их производные; 4) альдегиды, кетоны, органические кислоты и их производные; 5) амины, соли аминов и четвертичные аммониевые соединения; 6) элементоорганические соединения; 7) гетероциклические соединения.

Биоциды, содержащие в молекуле несколько функциональных групп или реакционных центров, как правило, относят при их классификации по химическому составу к группе, которую принято считать ответственной за биоцидное действие.

В ряде случаев применяемые на практике биоциды представляют не индивидуальные соединения, а смеси нескольких веществ

или технические продукты. Такие препараты относят к той или иной группе по основному компоненту, определяющему биоцидное действие препарата в целом.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЦИДОВ

Необходимым этапом в разработке новых химических средств защиты материалов и изделий от биоповреждений является исследование биоцидных свойств вновь синтезируемых соединений и проверка их эффективности в составе материала. Оценка эффективности биоцидов всегда представляла значительные трудности, вызываемые сложностью вопроса и многообразием условий их применения.

В настоящее время применяется много методов испытаний биоцидов. Одни из них используются лишь для определения отдельных биоцидных свойств. Это относительно быстрые лабораторные методы. Другие — для определения суммарных показателей — защищающей способности. Они включают как лабораторные методы, так и методы испытаний в природных условиях (натурные методы) и предназначены для выяснения границ применимости биоцидов и сроков службы защищенных ими материалов и изделий.

Одна из наиболее острых проблем биоповреждений — разработка эффективных средств защиты от повреждений, вызываемых плесневыми грибами. По этой причине подавляющее большинство новых соединений проходит испытания в качестве потенциальных технических фунгицидов.

Известен ряд лабораторных методов оценки фунгицидных свойств. Наиболее употребительные из них сводятся к посеву грибов на поверхности твердой питательной среды (среда Чапека-Докса с 2% агар-агара), в которую тем или иным способом вводят антисептик. Затем отмечают, задерживает ли исследуемое вещество развитие грибов.

Биоциды вводят в среду следующими способами:

1. Раствор вещества в воде закапывают в металлические цилиндры, поставленные на поверхность среды в чашках Петри. О фунгицидной активности судят по величине зоны отсутствия роста грибов вокруг цилиндров.

2. Определенным количеством раствора биоцида в воде или органическом растворителе пропитывают диски фильтровальной бумаги, которые затем размещают на поверхности засеянной среды в чашках Петри. Оценку активности производят, как в предыдущем случае.

3. Вещество вводят в расплавленную питательную среду, после застывания ее поверхность инокулируют в двух точках и инкубируют 72 ч. В данном случае фунгицидную активность определяют

как подавление роста грибов ($R\%$), которое рассчитывают по формуле

$$R = \frac{(d_0 - d_1) \cdot 100}{d_0},$$

где d_0 — диаметр колоний в контроле (мм); d_1 — диаметр колоний в опыте.

Для получения более точных количественных данных об активности соединений используют следующий метод. Жидкую среду Чапека-Докса с растворенным в ней определенным количеством исследуемого вещества засевают водной суспензией спор грибов. Грибы выращивают в колбах в течение 5 сут на качалке при 28°C . Фунгицидное действие определяют, сравнивая сухую биомассу мицелия, выросшего на среде с биоцидом и без него.

Методов испытаний грибостойкости материалов в лабораторных условиях также довольно много. Они различаются как методикой проведения испытаний, так и критериями оценки грибостойкости, из-за чего результаты, полученные разными методами, часто оказывались несопоставимыми. В целях стандартизации методов испытаний материалов на грибостойкость Международная электротехническая комиссия в 1954 г. предложила единую для различных неметаллических материалов методику, которая заключалась в том, что образцы материалов или изделий выдерживали при условиях, оптимальных для роста грибов (температура $28\text{—}30^\circ\text{C}$, влажность $98\text{—}100\%$), в течение 28 сут. При этом образцы предварительно заражались смесью спор следующих видов грибов: *Chaetomium globosum*, *Aspergillus niger*, *A. amstelodami*, *Penicillium cyclopium*, *P. brevi-compactum*, *Paecilomyces varioti*, *Stachyborys atra*. Срок испытаний материалов с добавками фунгицидов увеличивался до $80\text{—}90$ сут.

Окончательная проверка эффективности нового фунгицида и правильности выбора его концентрации в материале состоит в испытаниях материала на грибостойкость в природных условиях, которые проводятся в соответствии с ГОСТ 9.053—75 «ЕСЗКС. Материалы полимерные. Методы испытаний в природных условиях в атмосфере на микробиологическую стойкость». Сущность этого метода заключается в том, что образцы материалов выдерживаются в условиях естественного заражения микроорганизмами (грибами, бактериями, актиномицетами) и определяют микробиологическую стойкость по степени роста микроорганизмов и по изменению физико-механических показателей материалов.

Так же проводятся натурные испытания противообрастающих препаратов в составе лакокрасочных покрытий и других материалов, предназначенных для эксплуатации в воде в условиях повышенной опасности обрастания. При испытаниях образцы — металлические пластины с экспериментальным покрытием — располагают на специальном стенде, который погружают в воду в море или в пресноводном водоеме на глубину до 3 м, и периодически проводят осмотр состояния поверхности образцов, отмечая тол-

щину слоя обрастания или после соскобов массу обрастателей на единице площади поверхности.

Следует отметить, что в обрастании участвуют сильно различающиеся по морфологии живые организмы.

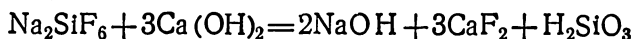
ФУНГИЦИДЫ

Химические вещества, применяемые для защиты сельскохозяйственных культур от грибных болезней, а также для защиты неметаллических материалов от повреждения плесневыми грибами, называют фунгицидами. Многие фунгициды обладают бактерицидным действием.

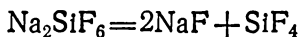
Свойства биоцидов, в частности фунгицидов, удобно рассматривать по группам в соответствии с приведенной классификацией по химическому составу и строению.

Неорганические соединения. В настоящее время наибольшее число неорганических фунгицидов находит применение для защиты материалов на основе целлюлозы: древесины, бумаги, древесно-слоистых пластиков, хлопчатобумажных и льняных волокон. Чаще всего это соли борной, фтористо- и кремнефтористоводородной кислот, а также сульфат меди и дихромат натрия. Указанные соли обычно применяют в смеси друг с другом или с органическими соединениями, реже — в виде индивидуальных веществ.

Кремнефторид натрия Na_2SiF_6 . Бесцветный порошок, растворимость в воде 0,66% при 20°C. В водных растворах он частично гидролизуеться и потому несовместим со щелочами, особенно с известью, при взаимодействии с которой образуется фторид кальция, нерастворимый в воде и не проявляющий биоцидных свойств:



При нагревании кремнефторид натрия разлагается на фторид натрия и фторид кремния:



Это высокотоксичное соединение (ЛД₅₀ 50 мг/кг для мышей и 158 мг/кг для крыс).

Кремнефторид натрия используется для защиты изделий из древесины при содержании 3,5—4% его как индивидуальное соединение и компонент антисептического препарата ХМК (до 20%). Так же, как кремнефторид аммония, он легко вымывается из древесины и не обеспечивает ее биостойкости на открытом воздухе, но сохраняет защитные свойства в закрытых помещениях. Применяется также для защиты бумажно-слоистых пластиков совместно с гидрофобизатором на основе алкилсиликонатов натрия ГКЖ-11.

Кремнефторид натрия используется в кожевенной промышленности в качестве бактерицида, который вводится в процессе дли-

тельного вымачивания сырья сухого консервирования в концентрации 0,75% г/л. Имеются данные о том, что он активно защищает лакокрасочные материалы (в виде латекса или пленки).

Получают кремнефторид натрия в процессе утилизации фторсодержащих летучих веществ, выделяющихся в производстве суперфосфата. Эти газы улавливают водой, в результате чего образуется кремнефтористоводородная кислота, которая с хлоридом натрия дает трудно растворимую в воде натриевую соль.

Фторид натрия NaF . Бесцветные, гигроскопичные кристаллы. В 100 г воды при 20°C растворяется 4,3 фторида натрия. Он относится к высокотоксичным соединениям (ЛД_{50} 100—750 мг/кг).

Основное назначение — антисептик древесины. Фторид натрия входит в состав многих препаратов для защиты древесины (в скобках приведено его процентное содержание в препарате): паста ФН-П (44), паста ПАЛ-Ф (46), паста ПАФ-ПВА (46), препарат ХМФ (20—30). Пригоден так же, как фунгицид, для защиты бумажно-бакелитовых пластиков. В концентрации 3—5% он придает грибостойкость эпоксидным компаундам КД-4 и КДЦ без ухудшения их технических показателей.

Получают фторид натрия нейтрализацией технической плавиковой кислоты содой или сплавлением плавикового шпата с содой и кремнеземом с последующим выщелачиванием водой.

Дихромат натрия $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. В обычных условиях представляет собой дигидрат $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и имеет вид оранжево-красных кристаллов, хорошо растворимых в воде (238 г в 100 мл при 0°C). Безводная соль плавится при 320°C.

Дихромат натрия сильно ядовит для человека и животных (ЛД_{50} 7—8 мг/кг для мышей), в связи с чем обращаться с ним нужно с большой осторожностью. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочих помещений 0,1 мг/м³.

Применяется в составе водорастворимых антисептических препаратов для защиты древесины: ХМББ (8—24%), ХХЦ (20%), ХМ-11 (50%), ХМХЦ (20%), ХМК (40—46%), ХМФ (40—50%).

Получают это соединение окислительным обжигом хромистого железняка с содой и известью с последующей обработкой образующегося Na_2CrO_4 раствором серной кислоты.

Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Голубые кристаллы. Растворимость в воде 16% при 15°C, обладает примерно такой же растворимостью в метиловом спирте, хуже растворяется в этиловом спирте. Безводная соль — белое кристаллическое вещество, очень гигроскопична.

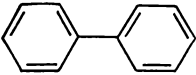
Выпускаемый технический продукт содержит 98,5% основного вещества.

Токсичен для теплокровных животных (ЛД_{50} для мышей 43 мг/кг, для крыс 520 мг/кг). Концентрированные водные растворы этого соединения раздражают слизистые оболочки, поэтому следует избегать попадания препарата на кожу и особенно в глаза, а при попадании немедленно смыть большим количеством воды.

Как технический фунгицид сульфат меди используется в составе ряда биоцидных препаратов для защитной пропитки древесины: ХМ-11 (50%), ХМФ (30—40%), ХМК (40—46%), ХМХЦ (10%), ХМББ (8—25%).

Помимо фунгицидного действия оказывает губительное действие на различные водоросли.

Углеводороды, галогенуглеводороды и нитросоединения. К ним

относится *дифенил* —  Это кристаллическое веще-

ство, $T_{пл}$ 70,5°C, практически нерастворимое в воде, хорошо растворимое в большинстве органических растворителей (ЛД₅₀ 3280 мг/кг для крыс).

Дифенил способен задерживать рост грибов и одновременно обладает невысокой токсичностью для теплокровных, поэтому часто используется для пропитки бумаги, в которую завертывают хранящиеся плоды citrusовых. Обработку бумаги проводят расплавленной смесью дифенила и парафина (1:1) из расчета 30 г дифенила на 1 кг бумаги. Получают дифенил в основном путем пиролиза бензола.

К ряду углеводородных фунгицидов можно отнести препараты на основе различных фракций каменноугольной смолы — дистиллята, получаемого при сухой перегонке каменного угля в процессе коксования.

Один из важнейших препаратов этого типа — *креозот* — маслянистая жидкость темно-коричневого или черного цвета со специфическим запахом, $T_{кип}$ выше 240°C. Смешивается с бензолом, толуолом и другими ароматическими углеводородными растворителями в любых соотношениях.

Главная составная часть креозота — ароматические углеводороды, включая нафталин, аценафтен, фенантрен, антрацен и флюорен. Кроме них содержатся соединения кислотного характера: фенол, крезолы, ксиленолы и нафтолы, а также гетероциклические азотистые основания — пиридины, хинолины и акридины. В каждой из этих групп есть вещества, обладающие биоцидными свойствами.

Креозот широко применяется для защиты от разрушения микроорганизмами деталей открытых деревянных сооружений: опор линий электропередач, телефонных и телеграфных столбов, мостов, свай, эстакад, железнодорожных шпал, а также градилен и других гидротехнических сооружений. Эффективное средство против морских древоточцев, термитов и других дереворазрушающих насекомых.

По масштабам производства и применения креозот занимает ведущее место не только среди антисептиков древесины, но и среди биоцидов вообще.

По сравнению с незамещенными углеводородами ассортимент галоген- и галогеннитропроизводных углеводородов, используемых в качестве средств улучшения грибостойкости материалов, более широк и разнообразен.

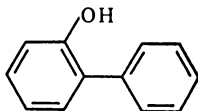
Среди галогеннитроуглеводородов определенный интерес могут представлять производные 1,3-бутадиена: 2-нитропентахлорбута-1,3-диен и 2-нитро-1,1—3,4-тетрахлор-4-бромбута-1,3-диен, которые в концентрации 0,001—0,0001% ингибируют рост плесневых грибов.

Спирты, фенолы и их производные обладают довольно широким спектром биоцидного действия. Среди них найдены эффективные фунгициды и бактерициды, многие из которых применяются в качестве технических биоцидов.

В ряду гомологичных спиртов и фенолов биологическая активность в отношении микроорганизмов увеличивается с ростом длины углеводородного радикала, но после достижения определенной величины падает. Так, наиболее активными фунгицидами у незамещенных спиртов являются ундециловый и додециловый спирты. Максимальная бактерицидная активность для алкилфенолов наблюдается в случае амил- и гексилфенола.

Галогензамещенные спирты и фенолы имеют повышенную активность, причем для замещенных фенолов галогены в пара-положении более эффективны, чем в орто- или в мета-положениях. Росту активности способствует увеличение числа атомов галогена. Повышается активность и при нитровании.

Типичным техническим фунгицидом из группы фенолов является 2-фенилфенол, известный как 2-оксидифенил:

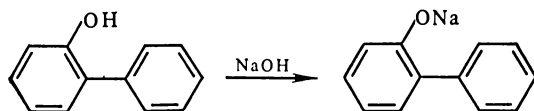


Чистый 2-оксидифенил — белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 57°C. Растворяется в воде при 25°C 0,7 г/л и хорошо в ароматических углеводородах. Технический продукт содержит до 15% 4-оксидифенила и представляет собой гранулы светло-серого или светло-желтого цвета с $T_{пл}$ 60—80°C.

Применяется для противогрибковой обработки натуральных кож различных видов путем введения в количестве 1,5—2,5% на стадии жирования, а также для пропитки хлопчатобумажной пряжи оплетки кабелей.

Малая токсичность чистого 2-оксидифенила (LD_{50} для крыс 2700 мг/кг), отсутствие запаха и раздражающего действия позволяют использовать его для сохранения продуктов питания. Фрукты и овощи, предназначенные для хранения, завертывают в бумагу, пропитанную препаратом высокой степени чистоты.

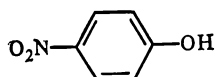
2-Оксиdifенил дает все характерные для фенолов реакции. При действии на него щелочей образуются соответствующие феноляты:



Натриевая соль 2-оксиdifенила используется в качестве водорастворимого антисептика древесины.

О наличии биоцидных свойств у нитро- и галогенпроизводных фенола известно еще с прошлого столетия, а начиная с 30-х годов нашего века их используют в качестве пестицидов. Ниже описаны фунгициды из этого класса соединений, которые в настоящее время применяются для защиты материалов от биоповреждений.

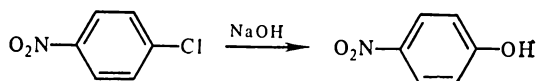
4-Нитрофенол (пара-нитрофенол) — светло-желтые кристаллы, $T_{пл}$ 113°C. Плохо растворим в воде, лучше — в органических растворителях:



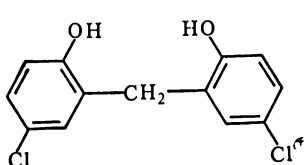
4-Нитрофенол — высокотоксичное вещество ($ЛД_{100}$ 150—200 мг/кг для кошек).

Это один из наиболее эффективных препаратов для предохранения натуральной кожи (содержание 0,3—0,75%) и каучука от разрушения микроорганизмами. В количестве до 5% его вводят в состав некоторых лакокрасочных материалов, например в перхлорвиниловые эмали.

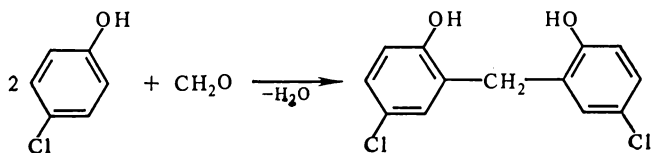
Препарат получают щелочным гидролизом 4-нитрохлорбензола при повышенной температуре:



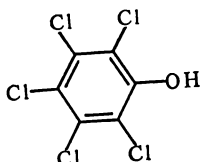
2,2-Диокси-5,5-дихлордифенилметан (дихлорофен, Г-4) — белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 177—178°C. Технический продукт, плавится при 164°C. Растворимость в воде при 25°C около 0,003%. Малотоксичен ($ЛД_{50}$ для различных экспериментальных животных 1000—2000 мг/кг):



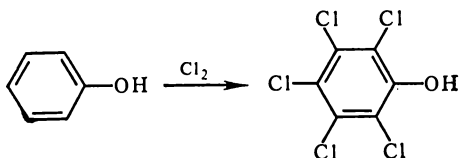
Получают дихлорофен конденсацией 4-хлорфенола с формальдегидом в воде в присутствии серной кислоты:



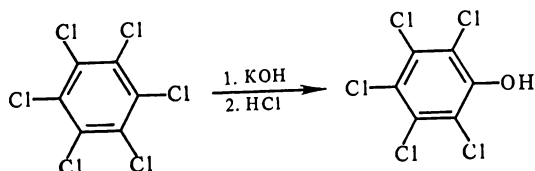
Широкое распространение в качестве фунгицида для целлюлозных материалов получил пентахлорфенол — кристаллическое вещество, $T_{\text{пл}}$ 190—191°C. Хорошо растворим в метаноле, несколько хуже — в этаноле, трудно растворим в насыщенных углеводородах. Растворимость в воде при 27°C 1,8 мг. Раздражает слизистые оболочки верхних дыхательных путей (ЛД₅₀ 210 мг/кг):



Получают пентахлорфенол с выходом 95—97% прямым хлорированием фенола и его хлорпроизводных в присутствии катализатора (алюминий, сурьма и их хлориды) при повышенной температуре:



или щелочным гидролизом гексахлорбензола в воде, метаноле и смесях различных растворителей:



Основное назначение пентахлорфенола как биоцида — защита древесины и материалов на ее основе. Для этого чаще всего используют водорастворимую натриевую соль пентахлорфенола. Разработано несколько различных рецептов. Наибольшее содержание пентахлорфенолята натрия, не менее 92%, имеет препарат

«пентахлор». В других препаратах его содержание колеблется от 1 до 50%. При использовании этих препаратов можно защитить древесину не только от разрушения микроорганизмами, но и от насекомых.

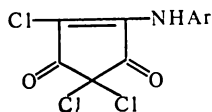
Пентахлорфенол может быть использован в качестве фунгицидной добавки к лакокрасочным материалам. Например, в количестве 5—10% он обеспечивает стойкость к воздействию плесневых грибов систем лакокрасочных покрытий на перхлорвиниловой и меламино-алкидной основе. Его применяют также для защитной обработки изделий — полуфабрикатов из натуральной кожи, предназначенных для длительного хранения или транспортировки, в которые его вводят в количестве 1% от массы кож.

Интенсивные поиски возможности использования высоких защитных свойств пентахлорфенола привели к созданию на его основе нового эффективного биоцида, пентахлорфениллаурата, не уступающего по биоцидной активности, но не обладающего отрицательными побочными свойствами пентахлорфенола. После завершения широких испытаний он вытеснил большинство других биоцидов и занимает ведущее положение в текстильной промышленности многих стран Европы.

В условиях отделки тканей и их эксплуатации это соединение достаточно стабильно, оно практически не изменяет цвета ткани, обладает хорошей стойкостью к вымыванию и низкой токсичностью. На основе пентахлорфениллаурата разработана серия фунгицидных препаратов — «Мистокс», которые сейчас применяют для грибостойкой отделки палаточных и брезентовых тканей.

Альдегиды, кетоны, карбоновые, карбаминовые кислоты и их производные. Биоцидные свойства соединений этой группы разнообразны и охватывают почти все типы биологического действия, среди них имеются эффективные фунгициды и бактерициды, родентициды и авирепелленты, регуляторы роста растений. Многие из них нашли применение в качестве технических пестицидов и число таких соединений постоянно растет.

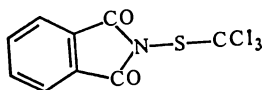
Из производных карбонильных соединений, которые в будущем могут найти применение в качестве фунгицидов для защиты неметаллических материалов, заслуживают внимания хлорированные циклические дикетоны:



В ряду этих соединений наибольшую фунгицидную активность проявляют 4-анилино- и 4-(4-хлорфениламино)-2,2,5-трихлорциклопент-4-ен-1,3-дион.

Из производных карбоновых кислот наибольшее распространение как технические фунгициды получили N-замещенные имидазы непредельных и ароматических двухосновных кислот.

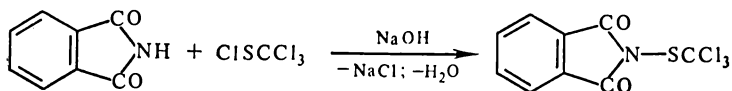
N-(Трихлорметилтио)фталимид (фталан):



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 177°C. Практически нерастворим в воде, плохо растворяется в обычных органических растворителях. Среди известных биоцидов — это, пожалуй, одно из наименее токсичных соединений (LD_{50} 10000 мг/кг для крыс).

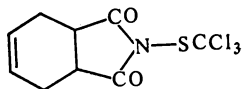
Фталан в качестве фунгицида вводят (0,25—1,0%) в состав различных поливинилхлоридных и других пластиков, резин и лакокрасочных покрытий. Недостатком является то, что он снижает термостабильность виниловых пластиков и не всегда обеспечивает должную защиту материалов.

Фталан получают взаимодействием фталимида с трихлорметилсульфенилхлоридом в водно-щелочной среде при интенсивном перемешивании и возможно более низкой температуре во избежание гидролиза как образующегося фталана, так и исходного трихлорметилсульфенилхлорида:



При использовании достаточно чистого трихлорметилсульфенилхлорида и соблюдении условий процесса выход фталана достигает 90%.

Сходное строение и свойства имеет другой фунгицид — каптан. *N*-(Трихлорметилтио)-1,2,3,6-тетрагидрофталимид (каптан):



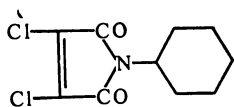
Белое кристаллическое вещество, почти без запаха, $T_{пл}$ 172°C. Технический продукт серого или желтого цвета с характерным запахом, $T_{пл}$ 164°C. Нерастворим в воде, плохо растворим в большинстве органических растворителей. Малотоксичен (LD_{50} для крыс 9000 мг/кг).

Каптан используют в качестве антисептической добавки к пластикам (0,4—1,8%), лакокрасочным покрытиям (0,2—1,0%), резинам (0,3—1,0%), бумаге (0,3%), дистиллятным топливам (0,02%). В последнем случае он применяется в сочетании с нитропропандиолом (0,1—0,25%).

В последние годы были найдены эффективные фунгициды в ряду имидов дихлормалеиновой кислоты. Среди десятков исследованных соединений наиболее перспективным представляется

циклогексими́д дихлормалеиновой кислоты, обладающий комплексом биоцидных свойств.

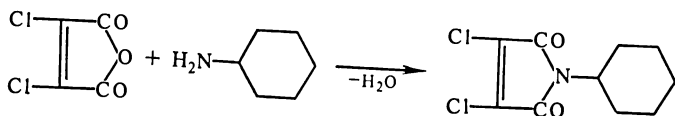
Циклогексими́д дихлормалеиновой кислоты (цимид)



Кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 137—138°C. Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях (ацетон, хлороформ). При попадании на кожу и слизистые может вызывать раздражение (LD_{50} 5200 мг/кг для мышей и 7500 мг/кг для крыс).

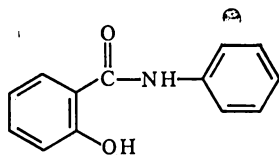
Цимид лучше всего подходит для защиты от микробиологических повреждений пленочных материалов и искусственных кож технического назначения. Его вводят в поливинилхлоридную композицию в виде пасты в смеси с пластификатором в дозировке 1—5% по массе.

Получают циклогексими́д дихлормалеиновой кислоты взаимодействием ее ангидрида с циклогексиламином в среде ледяной уксусной кислоты при 110°C:



К группе производных карбоновых кислот можно отнести и такой важный и известный фунгицид, как ани́лид салициловой кислоты.

Ани́лид салициловой кислоты (салициланили́д, ширлан)

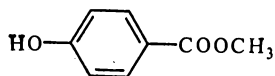


Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 135°C, при нагревании выше 150°C разлагается. Растворимость в воде около 55 мг/л, хорошо растворяется в хлорированных углеводах и других органических растворителях. LD_{50} более 5000 мг/кг.

Салициланили́д широко используется в производстве биостойкой упаковочной бумаги и картона, для отделки текстильных материалов различного волокна (содержание в материале до 2,5%). Салициланили́д проявил себя эффективным средством защиты указанных материалов при испытаниях лабораторными методами, однако на практике, в природных условиях, его защитные свойства не столь высоки, поскольку при экспозиции на от-

крытом воздухе он нестоек к солнечному облучению и вымыванию. Его вводят в состав некоторых перхлорвиниловых и эпоксидных эмалей (5—7%) и резин (2—3%).

Наряду с салициланилидом из производных оксibenзойных кислот в качестве биоцида находит практическое применение *метиловый эфир 4-оксibenзойной кислоты (нипагин-М)*:



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 131°C. Растворимость в воде 0,25%, растворяется в низших спиртах, эфире, ацетоне.

Этот препарат благодаря малой токсичности, химической инертности и хорошему антисептическому действию используют для защиты космических средств (0,1%), а также бумаги и шпешенного клея, используемых в реставрационных работах.

Сильным фунгицидным действием обладает *нафтенат меди*, представляющий собой смесь медных солей нафтенных кислот. Нафтенат меди — один из наиболее старых среди употребляемых в настоящее время биоцидов. Еще до первой мировой войны он получил признание в России и Германии.

Это вязкая маслянистая паста темно-зеленого цвета. Практически нерастворим в воде, хорошо растворим в нефтепродуктах и ряде органических растворителей. Раздражает слизистые ($ЛД_{50}$ 1100 мг/кг).

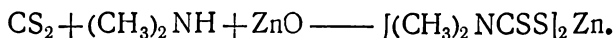
Нафтенат меди рекомендован для биозащитной пропитки древесины, а также различных хлопчатобумажных, джутовых и пенковых материалов технического назначения. В большинстве случаев дозировка его составляет 0,3—2,0% от массы изделия. Как и другие соединения меди, нафтенат снижает прочность текстильных материалов, особенно при воздействии солнечного облучения. Его не следует употреблять в качестве защитного покрытия для материалов соприкасающихся с резиновыми изделиями, так как он катализирует окисление резины.

Нафтенат меди получают обработкой щелочных солей нафтенных кислот сульфатом меди в водной среде.

Наибольшее практическое значение как фунгициды имеют производные диметилдитиокарбаминовой кислоты. В настоящее время они производятся в различных странах в объеме десятков тысяч тонн в год. Особенно широко используются такие препараты, как Са- и Zn-соли диметилдитиокарбаминовой кислоты и тетраметилтиурамдисульфид.

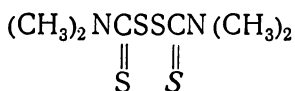
Диметилдитиокарбамат цинка (цимат, цирам) $[(CH_3)_2NCSS]_2Zn$. Кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 240—246°C с разложением. Длительное нагревание приводит к разложению препарата уже при температуре 170—180°C. Растворимость в воде при 25°C около 0,065 г/л, плохо растворим в большинстве органических растворителей. $ЛД_{50}$ 1400 мг/кг.

Основное назначение цимата — ускоритель вулканизации резин, одновременно при содержании в материале 2% по массе он может служить фунгицидом для резин. В смеси с цинковой солью 2-меркаптобензотиазола его вводят в латексные краски. Цимат получают взаимодействием сероуглерода, оксида цинка и диметиламина при 30—40°C:



или обработкой диметилдитиокарбамата аммония сульфатом цинка или другой хорошо растворимой в воде солью цинка.

Тетраметилтиурамдисульфид (ТМТД, тиурам)



Кристаллическое вещество белого или кремового цвета, $T_{\text{пл}}$ 155—156°C. Практически нерастворим в воде, хорошо растворим в хлороформе и ацетоне, хуже в этаноле. Тонкий порошок ТМТД при попадании на кожу и слизистые оболочки может вызвать раздражение (ЛД₅₀ 780 мг/кг).

ТМТД используется в производстве резиновых изделий как ускоритель вулканизации. Присутствие в резине 1—3% ТМТД является лучшей защитой от обрастания плесневыми грибами. В количестве 0,5% по массе его вводят в состав поливинилхлоридных композиций для придания грибостойкости изделиям из них.

ТМТД получают окислением диметилдитиокарбаматов щелочных металлов перекисью водорода или другими окислителями (например, азотистокислым натрием).

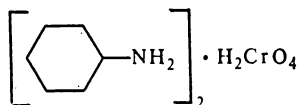
Амины, соли аминов, четвертичные аммониевые соединения. Амины и их соли составляют одну из важных групп биологически активных соединений, имеющих большое значение для поиска биоцидов.

Фунгицидная и бактерицидная активность алифатических аминов возрастает с увеличением молекулярной массы амина и при переходе от свободных аминов к их солям с различными неорганическими и органическими кислотами.

Еще более резкий скачок биологической активности вызывает кватернизация третичных аминов. Так, при кватернизации длинноцепочечных аминов или пиридина и других гетероциклических аминов галоидными алкилами с длинным углеводородным радикалом образуются водо- и маслорастворимые поверхностно-активные вещества, обладающие мощным антисептическим действием.

Типичными представителями этой группы биоцидов являются хромат циклогексиламина, нитрит дициклогексиламина и *m*-нитробензоат гексаметиленмина.

Хромат циклогексиламина (ХЦА)

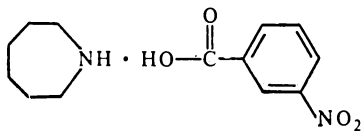


Порошок ярко-желтого цвета, $T_{\text{пл}}$ 127°C. Растворимость в воде 4%, в этаноле 1%, нерастворим в бензоле, ацетоне.

Наличие в составе этого препарата остатка хромовой кислоты придает ему способность ингибировать процесс коррозии металлов. Одновременно, будучи солью амина, он обладает высокой фунгистатической и фунгицидной активностью в концентрации более 0,02%.

ХЦА применяют в качестве летучего ингибитора-фунгицида для защиты оптических приборов и других сложных систем и механизмов. Препарат используют в виде ингибированной бумаги, содержащей 16—20 г/м² действующего вещества, в виде порошка, а также путем введения его в защитные смазки или обработкой изделия водным раствором.

м-Нитробензоат гексаметиленмина (Г-2)



Белый кристаллический порошок с желтоватым оттенком, $T_{\text{пл}}$ 132—133°C. Растворимость в воде около 2%, хорошо растворим в этаноле (ЛД₅₀ 1360 мг/кг).

Г-2 применяется в качестве летучего ингибитора-фунгицида на пористом носителе (50—300 г/м²), а также для производства биостойкой упаковочной бумаги технического назначения.

Четвертичные аммониевые соединения представляют практический интерес главным образом как сильные бактерициды (см. с. 323).

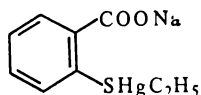
Элементорганические соединения. Бицидные свойства неорганических соединений ртути, мышьяка и других элементов издавна использовались в фармакологии, ветеринарии и сельском хозяйстве. Применение этих сильно ядовитых веществ сопровождалось побочным токсическим действием и поэтому представляло несомненную опасность для людей, животных и растений. Однако отсутствие альтернативы заставляло мириться с опасностью побочных отравлений. Органическая химия открыла возможность изыскания новых эффективных и более безопасных препаратов среди элементорганических соединений, в частности металлорганических соединений. В этих соединениях металл или другой элемент связан с одним или более атомом углерода, входящим в органический радикал. В результате исследований органических соединений ртути, олова, свинца, мышьяка были найдены такие

вещества, которые при меньшей токсичности для теплокровных животных по силе бактерицидного и фунгицидного действия значительно превосходили неорганические соединения этих элементов.

Токсические свойства элементарноорганических биоцидов (за исключением фосфорорганических соединений) обусловлены преимущественно способностью элементов образовывать ковалентные связи с сульфидрильными группами, входящими в состав жизненно важных компонентов клеток, а проникновение элементов к этим компонентам регулируется обрамляющими атом элемента органическими радикалами. Другой механизм действия у фосфорорганических биоцидов — в организме животных они фосфорилируют эстеразы, нарушая тем самым их нормальное функционирование.

Органические соединения ртути. Среди ртутьорганических биоцидов наибольшую известность приобрели мертиолат, фенолмеркурацетат, этилмеркурфосфат.

Этилмеркуртиосалициловая кислота, Na-соль (мертиолат)



Белое или желтоватое кристаллическое вещество, растворимое в воде и в этаноле. Относится к разряду сильнодействующих ядовитых веществ (ЛД₅₀ 44 мг/кг для крыс).

Мертиолат рекомендован в качестве летучего фунгицида для временной защиты от микробиологического повреждения оптических, радиоэлектронных и других приборов. Применяется обычно в виде таблеток или порошка в бумажных или бязевых пакетах по 5—10 г, а также на пористых носителях (бумага, поролон). Расход мертиолатов — 10 г на 1 м³ или 0,2—0,5 г на 1 м² поверхности изделия. Следует иметь в виду, что мертиолат химически агрессивен по отношению к сплавам из алюминия. Поэтому не рекомендуется применять его в приборах, где имеются детали из алюминиевых сплавов.

Этилмеркурфосфат (C₂H₅Hg)₂PO₄ — белое кристаллическое вещество, T_{пл} 178—179°C. Хорошо растворяется в воде и спиртах. При попадании на кожу вызывает ожоги (ЛД₅₀ 26 мг/кг для мышей, 30 мг/кг для крыс). ПДК_{р.з} 0,005 мг/м³¹.

Это сильный фунгицид и бактерицид (по бактерицидной активности он в 10 раз превосходит сулему) и может использоваться в качестве антисептика древесины, белковых клеев и для борьбы со слизееобразованием в бумажной промышленности.

Получают этилмеркурфосфат нагреванием до 100—115°C смеси эквимольных количеств диэтилртути и фосфата ртути в присутствии небольшого количества воды.

¹ ПДК_{р.з} — предельно допустимая концентрация в воде.

Оловоорганические соединения находят применение в различных областях техники и сельском хозяйстве. Промышленное производство этих соединений расширяется, в частности, в связи с их использованием в качестве стабилизаторов поливинилхлорида и пестицидов. Значение оловоорганических соединений для промышленности и сельского хозяйства настолько велико, что, несмотря на относительно высокую стоимость и дефицит олова, они изготавливаются за рубежом десятками тысяч тонн.

Как пестициды используются главным образом соединения триалкил- и триарилолова. Они применяются индивидуально и в различных составах для борьбы с болезнями растений, в бумажной промышленности для предотвращения слизееобразования, в качестве антисептиков неметаллических материалов, в производстве судовых необрастающих красок.

По сравнению с органическими соединениями меди, ртути, мышьяка оловоорганические биоциды обладают существенными преимуществами: 1) широким спектром биоцидного действия (активны по отношению к грибам, бактериям, насекомым, растениям и животным обростателям); 2) способностью защищать различные материалы от биоповреждений (пластики, лакокрасочные покрытия, древесину, бумагу, ткани, бетон и т. д.), не вызывают коррозию при контакте с металлами; 3) хорошей термостабильностью, устойчивостью при хранении как в индивидуальном виде, так и в композициях; 4) меньшей токсичностью для теплокровных (в большинстве случаев), чем ртуть-, свинец, и мышьякорганические соединения, и в отличие от перечисленных соединений постепенно разлагаются в окружающей среде до нетоксичного диоксида олова.

Таблица 12. Фунгицидная активность триалкилстанилацетатов

Соединение	Суммарное количество атомов углерода в алкильном радикале	Минимальная фунгистатическая концентрация, мг/л	
$(\text{CH}_3)_3\text{SnOCOCH}_3$	3	200	20
$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{SnOCOCH}_3$	6	2	2
$(\text{C}_3\text{H}_7)_3\text{SnOCOCH}_3$	9	1	0,1
$(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{SnOCOCH}_3$	12	0,5	0,1
$(\text{C}_5\text{H}_{11})_3\text{SnOCOCH}_3$	15	5	5
$(\text{C}_8\text{H}_{17})_3\text{SnOCOCH}_3$	24	100	100

В ряду производных триалкилолова R_3SnX (R-алкил, X-OH, Cl, OCOCH_3 и др.) максимальную фунгицидную активность имеют соединения, содержащие суммарное количество атомов углерода в алкальных радикалах, равное 12 (табл. 12).

Соединения с различными углеводородными радикалами в одной молекуле проявляют видовую специфичность фунгицидного действия, тогда как соединения с одинаковыми радикалами не

обладают избирательностью. В этом же ряду токсичность для теплокровных уменьшается с увеличением числа углеродных атомов в молекуле соединения. Так, например, триэтил-, трибутил- и триоктилхлорстаннан имеют ЛД₅₀ (для белых крыс) соответственно 2, 8, 220 и 7400 мг/кг. Однако, будучи малотоксичными, октильные производные не обладают необходимой активностью по отношению к плесневым грибам — агентам биоповреждений, поэтому использование их в качестве биоцидов неэффективно и нецелесообразно. Соединения из серии триэтилстаннанов из-за токсичности также не подходят для этой цели. Из них пока только алкилфенокситриэтилстаннан (афотас) рекомендован для практического использования в качестве антисептической присадки (0,5—1,0%) к маслам и смазкам.

Наибольшее распространение как биоциды получили трибутильные производные олова, прежде всего гексабутилдиистанноксан; кроме того, хорошо зарекомендовали себя трибутилстаннил-ацетат, трифенилгидроксистераннан и др.

Гексабутилдиистанноксан (бис(трибутилово)оксид, ТБТО) $(C_4H_9)_3SnOSn(C_4H_9)_3$ — бесцветная маслянистая жидкость с $T_{кип}$ 187°/3 мм и плотностью 1,14 г/см³, хорошо растворимая в органических растворителях, растворимость его в воде $5 \cdot 10^{-3}\%$.

ТБТО можно отнести к среднетоксичным веществам (ЛД₅₀ 250 мг/кг для крыс). При попадании на кожу вызывает дерматиты, раздражает слизистые. ПДК_{кр.з} 0,01 мг/кг.

ТБТО высокоактивен по отношению к большому числу организмов, включая грибы, бактерии, моллюски и т. д. Наиболее чувствительны к нему плесневые грибы; минимальная фунгицидная концентрация составляет в среднем 0,1 мг/л.

В качестве технического фунгицида ТБТО рекомендован для защитной обработки древесины, хлопчатобумажных тканей и других материалов на основе целлюлозы, а также для производства грибостойких водоэмульсионных красок и полимерных материалов.

Практика использования изделий из древесины, защищенной ТБТО, показала, что в почве ТБТО довольно быстро теряет свои защитные свойства, тогда как на воздухе он обеспечивает длительную сохранность материала. Поэтому ТБТО используется в основном для защиты древесины в постройках. Здесь он имеет, несомненно, преимущества перед таким распространенным антисептиком древесины как пентахлорфенол: меньшее раздражающее действие, лучшую растворимость в легких нефтяных растворителях, благодаря чему отпадает необходимость в специальных добавках, препятствующих отложению биоцида на поверхности древесины. Кроме того, древесина, пропитанная ТБТО, лучше окрашивается. Рекомендуемая норма расхода ТБТО 0,6—0,7 кг на 1 м³ древесины.

ТБТО — один из наиболее эффективных препаратов для защиты текстильных материалов. Сравнительные испытания различных видов тканей, обработанных ТБТО и стандартным биоцидом —

пентахлорфениллауратом, показали, что в нормальных климатических условиях на воздухе добавка к ткани 0,1% ТБТО эквивалентна содержанию 2% пентахлорфениллаурата. В почвенном тесте ТБТО обеспечивает равную защиту в концентрации 0,5%. При этом не было отмечено отрицательного влияния ТБТО на стойкость обработанных им тканей и УФ-облучению.

ТБТО получают щелочным гидролизом трибутилхлорстаннына. Значительная часть получаемого в промышленности ТБТО расходуется для синтеза других оловоорганических биоцидов.

Трифенилгидроксисаннан (трифенилоловогидроксид) $(C_6H_5)_3SnOH$ — белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 120°C. Практически нерастворим в воде, растворим в метаноле (20%), бензоле (4%), ацетоне (5%). При прямом контакте с кожей вызывает раздражение (LD_{50} 500—600 мг/кг для крыс).

Трифенилгидроксисаннан считается перспективным фунгицидом для борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур. В технике он может использоваться для предохранения изделий из древесины, хлопка и шерсти от повреждения микроорганизмами и насекомыми и как биоцидный компонент в составе противобрастающих красок.

Среди других оловоорганических фунгицидов, предназначенных для защиты различных материалов и изделий от микробиологических повреждений, следует отметить ряд препаратов под общим сокращенным названием АБП и АГС.

Латексные биоциды АБП-10, АБП-40 представляют собой продукты эмульсионной сополимеризации трибутилстанилакрилата с эфирами акриловой и метакриловой кислот и предназначены для введения в различные водно-дисперсионные пленкообразующие составы. Указанные препараты хорошо совмещаются с промышленными поливинилацетатными и полиакрилатными водно-дисперсионными клеями и красками и в количестве 1—2% надежно защищают их от микробиологических повреждений. Кроме того, латексы АБП-10 и АБП-40 успешно прошли испытания в качестве биоцидных пропиток для пористых и волокнистых материалов типа древесины, бумаги, тканей и т. д.

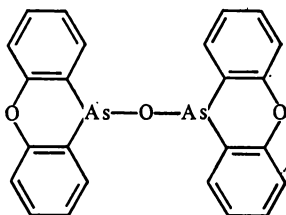
Порошкообразные препараты АБП-10-П и АБП-40-П предназначены для введения в качестве биоцидов в пресс-материалы. Эти препараты одновременно являются стабилизаторами поливинилхлорида.

Биоцидный лак АГС-4 — раствор сополимера трибутилстанилакрилата с эфирами метакриловой кислоты в органическом растворителе — предназначен для защиты от повреждений плесневыми грибами технических изделий из различных материалов, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности и тропического климата. Его можно наносить любым доступным способом, он быстро высыхает, обладает электроизоляционными свойствами.

Мышьякорганические соединения. В качестве биоцидов используются почти исключительно гетероциклические соединения мышьяка — производные 5,10-дигидрофенарсазина и фе-

ноксарсина. Эти соединения обладают широким спектром биоцидного действия и высокой биологической активностью — по фунгицидной активности они приближаются к ртутьорганическим соединениям, а по отношению к морским обрастателям, особенно по отношению к водорослям, они более эффективны, чем оловоорганические соединения. Благодаря этому мышьякорганические биоциды способны придавать биостойкость и биоцидные свойства полимерным и текстильным материалам, бумаге, коже и предохранять днища морских судов от обрастания на срок более двух лет. Еще одно их достоинство — сравнительно небольшая стоимость и хорошая обеспеченность сырьем.

Бис(феноксарсин-10-ил)оксид (оксофин)



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 181—182°C. Растворимость в воде 0,01 г/л, ограниченно растворим в спиртах, ароматических углеводородах, диметилформамиде. Высокотоксичен ($ЛД_{50}$ 54 мг/кг).

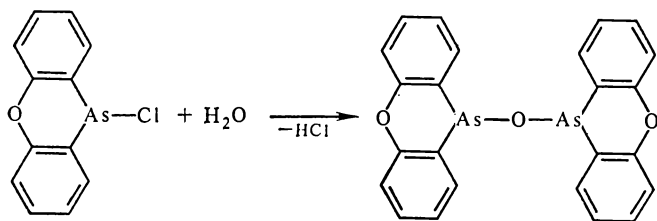
Оксофин испытан как средство защиты от биоповреждений битумно-полимерных материалов (до 5%), используемых при изоляции газо- и нефтепроводов, и для защиты от обрастания систем оборотного водоснабжения. Он эффективен в составе акриловых эмульсионных красок и в масляных красках при содержании 0,5—3,0%, а также в поливинилацетатных дисперсиях (0,025%). В концентрации 0,1% оксофин защищает эмульсионные краски в период их хранения.

На основе оксофина за рубежом выпускается препарат «Эстабекс АБФ» («Винизен БП-5»), который представляет собой 1%-ный раствор оксофина в эпоксицидированном соевом масле и предназначен специально для защиты пленочных материалов из поливинилхлорида. Препарат малотоксичен для людей и животных ($ЛД_{50}$ для крыс составляет 1750 мг/кг). Он не оказывает раздражающего действия на кожу, а пленка с этим препаратом в количестве 3—5% (оптимальное содержание) не вызывает аллергии.

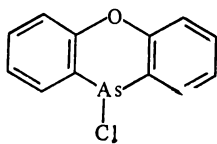
Применение оксофина в виде указанных препаратов при переработке пластифицированного поливинилхлорида имеет много преимуществ перед другими, часто используемыми для этой цели биоцидами, такими, как олово- и ртутьорганические соединения, пентахлорфениллаурат, каптан. Он не влияет на окраску поливинилхлоридного пластика, не снижает его термостойкости и

стойкости к ультрафиолетовому облучению, но главное это то, что после экспериментов по старению оксофин не теряет свои фунгицидные свойства. Низкая стоимость и высокая эффективность вместе с перечисленными ценными технологическими качествами делают оксофин одним из лучших фунгицидов для поливинилхлоридных материалов.

Оксофин образуется при гидролизе 10-хлорфеноксарсина:



10-Хлорфеноксарсин (хлофин)



Кристаллическое вещество серого цвета, $T_{\text{пл}}$ 123—124°C. Растворимость в воде при 20°C 0,005—0,01 г/л, растворим в некоторых органических растворителях. Высокотоксичен (ЛД₅₀ 53 мг/кг).

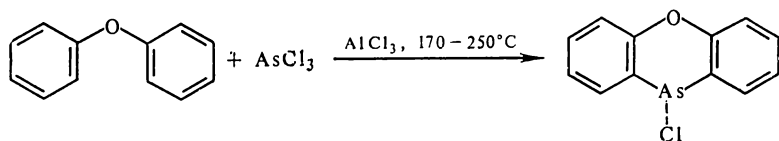
По спектру биоцидного действия хлофин аналогичен оксофину, а по активности в отдельных случаях превосходит его. Хлофин перспективен в качестве компонента необрастающих красок для морских судов при содержании от 3 до 15%, для защиты от микробиологических повреждений изоляционных битумно-полимерных мастик (1%), смазочно-охлаждающих жидкостей, пленочных материалов из поливинилхлорида (0,01%), а также для предотвращения обрастания систем обратного водоснабжения (0,5 мг/л).

В Казанском химико-технологическом институте разработана препаративная форма хлофина — «Эпоксар». Основой препарата является раствор хлофина в эпоксидированном соевом масле. Эпоксар малотоксичен (ЛД₅₀ составляет 4420—5100 мг/кг для различных экспериментальных животных).

Предназначен для введения в качестве 2—6%-ной фунгицидной добавки в композиции на основе поливинилхлорида и других хлорсодержащих полимеров. Эпоксар одновременно выполняет функции свето- и термостабилизатора. Он обеспечивает грибоустойчивость материала, сохраняющуюся в процессе свето-теплого

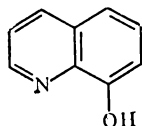
старения, и может служить полноценной заменой импортному препарату «Эстабекс АБФ».

Хлофин получают конденсацией дифенилового эфира с треххлористым мышьяком в присутствии безводного хлористого алюминия при продолжительном нагревании:



Гетероциклические соединения. В ряду гетероциклических фунгицидов наиболее известны 8-оксихинолин и его соединение с медью.

8-Оксихинолин (оксин)



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 76°C. Плохо растворим в воде, в растворах кислот и щелочей образует соответствующие растворимые соли.

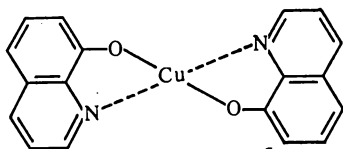
Наличие в ароматическом ядре 8-оксихинолина гидроксильной группы придает ему химическое сходство с фенолами. Он легко галогенируется и нитруется в положения 5 и 7, ацилируется, при этом фунгицидные свойства усиливаются.

8-Оксихинолин малотоксичен ($ЛД_{50}$ для различных теплокровных животных 1000—1200 мг/кг). Благодаря этому он используется в составе биостойких эмалей (добавка 0,025—0,1%), применяемых в пищевой промышленности.

8-Оксихинолин эффективен в качестве биоцидной присадки к нефтяным моторным топливам. В концентрации 0,1% он подавляет рост тест-организмов (грибов на 93%, бактерий на 80%), при этом не оказывает отрицательного влияния на эксплуатационные свойства топлив даже при содержании, в пять раз превышающем указанное, и обеспечивает его длительную защиту.

Антимикробное действие 8-оксихинолина связывают с его способностью образовывать устойчивые комплексы с тяжелыми металлами. Хотя сам 8-оксихинолин не токсичен для микроорганизмов, он осуществляет транспорт металлов через клеточные мембраны и накопление их в клетках в больших количествах, чем в обычных условиях. Так, он повреждает мицелий грибов только в присутствии катионов Cu^{2+} . По этой причине в качестве фунгицида обычно используют хелатный комплекс 8-оксихинолина и меди.

8-Оксихинолят меди (купроцин)



Купроцин — зеленовато-желтый кристаллический порошок, мало растворимый в воде (0,8 ч/млн.) и большинстве органических растворителей. Стабилен при хранении и выдерживает нагревание до 150—160°C без разложения. ЛД₅₀ 1000 мг/кг.

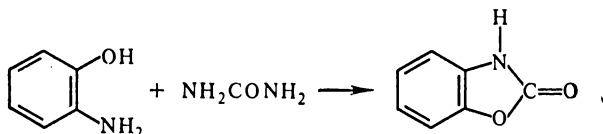
Купроцин применяют для получения биостойкой древесины и бумаги (вводят 1—5% биоцида), для защиты некоторых видов резин (1—4%), лакокрасочных покрытий (1—10%). Он известен также как фунгицид для пластиков, в основном для поливинилхлорида. Солюбилизованный 8-оксихинолят меди вводят в ПВХ-композицию в виде дисперсии в пластификаторе (2-этилгексилфталате, октилсебацinate, трикрезилфосфате и др.) в концентрации от 2 до 10%. Следует отметить, что 8-оксихинолят меди понижает термостабильность и светостойкость поливинилхлорида и окрашивает его в желто-зеленый цвет. Защищенные им ПВХ-пластики идут на изготовление покрытий проводов и кабелей, пленки из них используются для дублирования тканей. В США он используется в составе пластиков, которые применяют в производстве военного снаряжения.

Сравнительно низкая токсичность купроцина позволяет использовать его в пищевой промышленности для обработки тары, помещений, оборудования. Его добавляют к казеиновому клею для пищевых упаковок.

8-Оксихинолят меди получают смешением водных растворов 8-оксихинолина и солей меди.

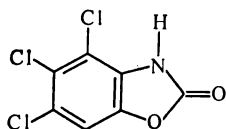
Из гетероциклических соединений с двумя гетероатомами значительный интерес представляют замещенные бензоксазолины и тиазолы. Бензоаксазолинон и некоторые его производные встречаются в связанном виде в растениях и являются фактором их природной устойчивости к грибным заболеваниям.

Бензоксазолинон можно получить нагреванием *o*-аминофенола с мочевиной:



Хлорпроизводные бензоксазолинона, как это часто бывает, обладают более выраженным фунгицидным действием, чем исходное соединение.

4,5,6-Трихлорбензоксазолинон (трилан)

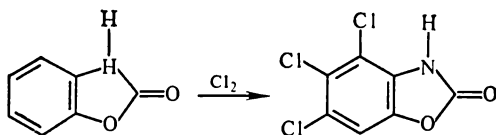


Более кристаллическое вещество без запаха, $T_{пл}$ 240°C. Почти нерастворим в воде, растворим в ацетоне, диметилформамиде и некоторых других органических растворителях. Технический продукт может быть окрашен в светло-желтый или розовый цвет. Трилан устойчив к воздействию высоких температур (до 180°C), влаги и светового облучения. Под действием света, однако, препарат со временем приобретает желтую окраску и частично теряет свои биоцидные свойства, что ограничивает возможности его применения. LD_{50} 1315 мг/кг для мышей.

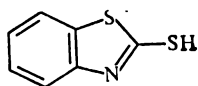
Трилан прошел широкие испытания в нашей стране в качестве средства защиты от микробиологического повреждения различных неметаллических материалов. Может быть использован для изготовления биостойкой бумаги (3%) и картона (1,5%). При защите документов он не оказывает отрицательного эффекта на свойства бумаги. Триланом можно защищать также хлопчатобумажные и льняные ткани (1—1,5%), натуральные кожи различной выделки (0,5—1,0%), резины, пленочные материалы и искусственные кожи технического назначения. В последнем случае трилан в количестве 0,5—2% вместе с пластификатором вводят в поливинилхлоридную композицию.

По основным показателям трилан — один из перспективных отечественных технических фунгицидов. К его недостаткам следует отнести повышенную миграцию к поверхности полимерного материала и недостаточную светостойкость.

Получают его прямым хлорированием бензоксазолинона:



Среди производных тиазола наибольшее значение как биоцид имеет 2-меркаптобензотиазол (каптакс):



Светло-желтый порошок с характерным запахом, $T_{пл}$ 180°C. Растворяется во многих органических растворителях, ограниченно растворяется в горячей воде. Растворяется также в растворах щело-

чей, с которыми образует соответствующие соли. Препарат малотоксичен.

Каптакс — широко распространенный ускоритель вулканизации сырых резиновых смесей на основе натурального и синтетических каучуков диенового типа. В концентрации 0,5—2% он не улучшает грибостойкость резин, но удовлетворительно защищает натуральную кожу и текстильные материалы.

Водный раствор натриевых солей каптакса и диметилдитиокарбаминовой кислоты (препарат «Ванцид 51») применяется в качестве бактерицидно-фунгицидной присадки к водным смазочно-охлаждающим жидкостям. Биоцид вводят либо в концентрат (1—3%), либо в рабочий раствор (0,05—0,1%) смазочно-охлаждающей жидкости.

БАКТЕРИЦИДЫ

Соединения, описанные выше, как правило, обладают комплексным микробиологическим действием (против грибов и бактерий) и только в силу некоторых причин (из-за особенностей физико-химических свойств и технологии применения, более выраженной фунгицидной активности и др.) используются главным образом как фунгициды.

В настоящем разделе рассматриваются свойства микробиоцидов, предназначенных для защиты материалов и изделий от повреждений, вызываемых бактериями.

Неорганических соединений — технических бактериоцидов — немного. К числу наиболее известных можно отнести натрий метасиликат и хлор.

Натрия метасиликат $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ — белый порошок, $T_{\text{пл}}$ 40—48°C, растворимость в воде до 37%. В водных растворах гидролизуется с образованием NaOH и SiO_2 , 1—3%-ный водный раствор метасиликата натрия имеет pH 12. ЛД₅₀ более 3000 кг/мг для крыс.

Метасиликат натрия находит применение в качестве бактерицида-ингибитора коррозии для защиты металлических конструкций от биокоррозии. Он также входит в состав многих моющих и дезинфицирующих композиций, таких, как «Дезмол», «Збруч», ДМП, «Арагац», которые содержат от 20 до 30% метасиликата натрия. Во всех случаях бактерицидным началом является гидроксид натрия, образующийся при гидролизе метасиликата.

Метасиликат натрия получают как побочный продукт производства глинозема.

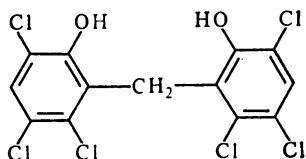
Хлор Cl_2 — газообразное вещество зеленовато-желтого цвета, $T_{\text{кип}}$ — 34°C, плотность 3,21 г/л (20°C, 760 мм рт. ст.). В тех же условиях 1 объем воды растворяет 2,3 объема хлора. Водные растворы хлора (хлорная вода) помимо хлора содержат также хлорноватистую и хлористоводородную кислоты: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HOCl} + \text{HCl}$. ПДК_{р.з} 1 мг/м³.

Активный хлор, т. е. газообразный хлор и соединения — источники элементарного хлора, в течение длительного времени используется как средство стерилизации бумажной пульпы.

Хлорирование — эффективный и удобный способ защиты от обрастания систем оборотного водоснабжения (например, см. сульфат меди). Интересным вариантом этого метода является электролизное хлорирование морской воды, которое обеспечивает надежную защиту морских сооружений от обрастания как животного, так и растительного происхождения.

Среди соединений фенольного типа в качестве технического бактерицида наибольшее распространение получил гексахлорофен, который обладает также сильным фунгицидным действием и может с успехом использоваться для придания грибостойкости различным материалам.

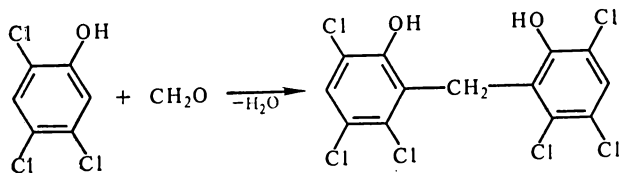
2,2-Диокси — 3,3,5,5,6-гексахлордифенилметан (гексахлорофен)



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 164—165°C. Практически нерастворим в воде, умеренно растворим в органических растворителях. ЛД₅₀ для крыс 320 мг/кг.

Применяется в качестве антисептической добавки к косметическим средствам. Используется в металлообрабатывающей промышленности для защиты от бактериального заражения смазочно-охлаждающих жидкостей (бактерицидная концентрация 0,01—0,02%). Вводится также в состав некоторых пластиков в количестве 0,25—5,0% с целью получения самостерилизующихся материалов, используемых в медицинских и других общественных учреждениях.

Гексахлорофен получают конденсацией 2,4,5-трихлорфенола с формальдегидом в присутствии кислот:

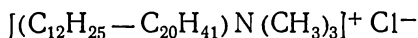


Важную группу технических бактерицидов составляют четвертичные аммониевые соединения.

В настоящее время наиболее известными и широко применяемыми биоцидами из группы четвертичных аммониевых соединений являются алкилтриметиламмоний хлорид, алкилбензилдиметил-

аммоний хлорид, алкилбензилпиридиний хлорид и некоторые другие.

Алкилтриметиламмоний хлорид (АТМ-хлорид)



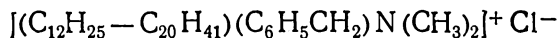
Обычно АТМ-хлорид является смесью соединений с числом атомов углерода в алкильном радикале от 12 до 20, в редких случаях это индивидуальное соединение, например препарат «Баркват СТ-29» американского производства, представляющий собой цетилтриметиламмоний хлорид. АТМ-хлорид хорошо растворяется в органических растворителях, умеренно растворим в воде. Среднетоксичен (ЛД₅₀ для крыс и мышей 870—900 мг/кг).

АТМ-хлорид применяется в качестве биоцидной основы многих дезинфицирующих композиций: ниртан, дезан и др. Препарат ниртан (смесь АТМ-хлорида, Na₃PO₄, Na₂CO₃ и Na₄P₂O₇) испытан для дезинфекции объектов здравоохранения и животноводческих комплексов, а также для защиты металлического оборудования нефтепромыслов от микробиологической коррозии (в концентрации 25 мг/л обеспечивает полное подавление сульфатвосстанавливающих бактерий и на 25% снижает скорость коррозии).

АТМ-хлорид в виде препарата катионат-10 использовался при реставрационных работах для антисептической обработки красочного слоя произведений древнерусской настенной живописи, для защиты рыбьего клея и мелового грунта. В используемых концентрациях (до 2%) препарат не влияет на компоненты живописи.

АТМ-хлорид в смеси с другими четвертичными аммониевыми соединениями рекомендован для защиты от поражения микроорганизмами нефтяных дистиллятных топлив. Эффективная концентрация бактерицида в топливе 0,05—0,1%.

Алкилбензилдиметиламмоний хлорид (АБДМ-хлорид)



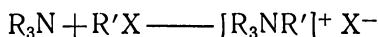
Как и предыдущий препарат, АБДМ-хлорид — смесь гомологичных соединений. Хорошо растворим в воде и полярных органических растворителях. Малотоксичен (ЛД₅₀ 3630 мг/кг для крыс).

АБДМ-хлорид и его композиции с неионогенными поверхностно-активными соединениями используется для дезинфекции тканей, металлических и деревянных поверхностей, а также как биоцидная присадка к топливам. В последнем случае АБДМ-хлорид оказался более эффективным, чем АТМ-хлорид.

АБДМ-хлорид (препарат катамин АБ) рекомендован для использования в реставрационной и музейной практике в качестве химического средства борьбы с микроорганизмами, развивающимися на произведениях искусства. Кроме того, он может быть использован для придания притовообрастающих свойств железобетонным конструкциям. Так, введение в состав цемента 0,2% по массе 57%-ного водного раствора АБДМ-хлорида защищает бетон от обрастания на 2 года и более.

Четвертичные аммониевые соединения часто используются для обеззараживания различных предметов и поверхностей на предприятиях пищевой промышленности, в торговле, медицине. Они хорошо зарекомендовали себя как эффективные средства борьбы с сульфатовосстанавливающими бактериями на нефтепромыслах (табл. 13).

Общим методом получения четвертичных аммониевых соединений является взаимодействие третичных аминов с галогенуглеводородами при повышенной температуре:



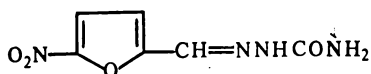
Для этого чаще всего берут хотя и менее реакционноспособные, но более дешевые и доступные хлорпроизводные.

В ряду карбонильных соединений и их производных, обладающих бактерицидной активностью, наиболее ярким представителем является формальдегид.

Формальдегид CH_2O — бесцветный газ с характерным запахом, вызывающий слезотечение. Растворимость в воде около 40%, он также растворим в спиртах и ряде других органических растворителей. Формальдегид среднетоксичен (ЛД₅₀ 385—424 мг/кг).

В виде 2%-ного водного раствора он используется для дезинфекции складских помещений, тары и других материалов. В нефтедобывающей промышленности формальдегид применяют для борьбы с сульфатовосстанавливающими бактериями путем введения в призабойную зону нагнетательной скважины периодически или непрерывно в концентрации 0,5—5,0 г/л. Расход препарата на одну обработку может составлять от 1 до 600 т, защитный эффект 70—95%. Формальдегид применяется также для защиты от микробиологического повреждения смазочно-охлаждающих жидкостей, например, «Укринол-1» содержит 0,1% формальдегида.

К группе бактерицидов — производных карбонильных соединений — относится другой известный препарат — *фурацилин* (семикарбазид-5-нитрофуранкарбальдегида):



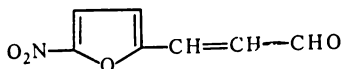
Это соединение, широко применяющееся в качестве антисептического средства в медицине, предложено использовать для защиты смазочно-охлаждающих жидкостей. Здесь фурацилин оказался значительно эффективнее формальдегида. Введение 0,01% фурацилина в состав уже упоминавшейся эмульсии «Укринол-1» обеспечивает ее биостойкость в течение 30 дней эксплуатации. Антимикробная активность фурацилина значительно возрастает в присутствии добавки солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Так, комбинация фурацилина с динатриевой солью ЭДТА в концентрации 0,01% имеет срок защитного действия 80 дней.

Т а б л и ц а 13. Препараты на основе четвертичных аммониевых соединений, рекомендованные в качестве бактерицидов для борьбы с сульфатом (восстанавливающими бактериями на нефтепромыслах)

Бактерицид	Состав	Т° замороз- ния, °С	Растворитель	Токсичность, ЛД ₅₀ мг/кг	Концентра- ция реагента, г/л	Расход на 1 обра- ботку, г	Защитный эффект, %
Бакирам С-85	Диалкилметилбензил- аммоний хлорид	—1	Вода, спирты, углеводороды	0,22	2	0,5—7,7	10—84
ДОН-52	Композиция на основе алкилтриметиламмоний хлорида	—10	То же	1000	0,05	0,05	95
АБДМ-АТМ	Смесь алкилбензилди- метил- и алкилтриметил- аммоний хлоридов	Порошок	»	—	0,05	0,05	98
Нирган	Композиция на основе алкилтриметиламмоний хлорида	»	Вода, спирты	4000	—	—	—

При использовании фурацилина как средства защиты смазочно-охлаждающих жидкостей необходимо учитывать его способность вызывать аллергию при длительном контакте кожи рук с эмульсиями.

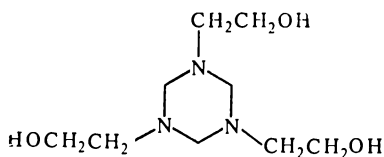
Другое соединение этой группы — β -(5-нитрофур-2-ил) акролеин:



используют для модификации поливинил-спиртового волокна с целью получения специального волокна «Летилан», обладающего повышенной стойкостью к микробиологическому повреждению и, кроме того, контактным бактерицидным действием. Летилан придает бактерицидные свойства композициям с другими текстильными материалами при содержании его не менее 30%. Области применения летилана широки. Он может применяться в виде тканей, нетканых и других биостойких текстильных материалов, а как биоцид — для защиты от биоповреждений оптических приборов, музейных предметов, книг; в качестве антисептических упаковочных материалов в пищевой и медицинской промышленности, нательного и постельного белья, одежды; для изготовления антимикробных фильтров для очистки газов и жидкостей.

Среди гетероциклических бактерицидов можно выделить препарат «Вазин».

Вазин. Действующее начало препарата — 1,3,5-трис(2-гидроксиэтил)пергидро-1,3,5-триазин:



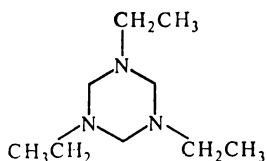
Жидкость желтого цвета со слабым специфическим запахом. Хорошо растворяется в воде, плохо — в органических растворителях. Водные растворы вазина имеют щелочную реакцию (рН 0,15%-ного раствора 10,2—10,5). Малотоксичен, не оказывает раздражающего и сенсибилизирующего действия.

Вазин используется в отечественной металлообрабатывающей промышленности в качестве биоцидной присадки к смазочно-охлаждающим жидкостям. Срок защитного действия вазина при рекомендуемом содержании 0,1—0,15% около 40 дней.

Эффективен против бактерий в концентрации 0,005—0,15%, а в концентрации более 1% оказывает фунгицидное действие.

Близкое к вазину химическое строение имеет применяемый за рубежом препарат «Ванцид ТН».

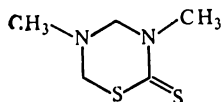
Ванцид ТН. Действующее вещество — 1,3,5-триэтилпергидро-1,3,5-триазин — продукт конденсации этиламина и формальдегида:



Желтоватая жидкость, $T_{\text{кип}}$ 205—210°C. Растворяется в воде, этаноле, ацетоне, частично растворяется в углеводородах. Препарат стабилен в водных растворах только в щелочной среде ($\text{pH} > 7,5$), при значениях pH менее 6,3 происходит разложение 1,3,5-триэтилпергидро-1,3,5-триазина с выделением этиламина и формальдегида.

Ванцид ТН используют, так же как и вазин, в качестве бактерицидной присадки к водным смазочно-охлаждающим жидкостям. Оптимальная биоцидная концентрация ванцида 0,04—0,15%.

Высокой бактерицидной активностью обладают производные тетрагидротиадиазина, получаемые конденсацией алкилдитиокарбаминовых кислот или их солей с формальдегидом и первичными аминами. Один из представителей этого ряда соединений — 3,5-диметилтетрагидро-1,3,5-тиадиазин-2-тион:



Среднетоксичен (ЛД_{50} для крыс 608 мг/кг). В США применяется для антисептирования бумажной пульпы и бумаги. Кроме того, это хорошее средство защиты от микробиологического повреждения смазочно-охлаждающих жидкостей (в концентрации 0,1% обеспечивает защиту в течение более 100 дней). В СССР используется как стерилизатор почвы в составе препарата «Тиазон».

МОЛЛЮСКОЦИДЫ И ДРУГИЕ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИЕ АГЕНТЫ

Основное назначение моллюскоцидов и других противообрастающих агентов как средств защиты от биоповреждений — это предохранение подводной части корпусов морских судов, гидротехнических сооружений и других изделий, эксплуатирующихся в водной среде, от обрастания водными организмами: моллюсками, ракообразными, водорослями и т. д. Биоциды, используемые для этой цели, часто защищают и от водорослей, т. е. являются альги-

цидами и поэтому их объединяют понятием противообрастающие агенты.

Наиболее характерная форма применения биоцидов этой группы — противообрастающие лакокрасочные покрытия, реже биоцидами пропитывают готовые изделия (рыболовные сети, деревянные сваи) или вводят в состав материала (бетон для подводных сооружений).

В настоящее время в качестве биоцидных компонентов противообрастающих покрытий используют соединения меди, свинца, мышьяка и олова.

Соединения меди. Многие соединения меди обладают необходимым комплексом биоцидных свойств и биологической активностью, достаточно высокой, чтобы их можно было использовать в составе противообрастающих покрытий. На практике же применяется только оксид — закись меди (I). Все другие соединения по своей растворимости в воде, совместимости с другими компонентами покрытия, химической инертности и другим показателям не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к биоцидам для противообрастающих покрытий.

Оксид меди (I) Cu_2O . Кристаллическое вещество красного цвета (окраска может изменяться от желтой до малиновой в зависимости от чистоты препарата и степени его дисперсности), плотность 5,8—6,0 г/см³. Растворимость в морской воде при pH 8,1 равна 5,4 мг/л, хорошо растворим в водном растворе аммиака и в минеральных кислотах. Практически нерастворим в органических растворителях. Технический продукт содержит 94—96% оксида меди (I). Это наименее токсичный биоцид, используемый в противообрастающих покрытиях (ЛД₅₀ 470 мг/кг для крыс, 500 мг/кг для кроликов). ПДК_{р.з} 0,1 мг/м³ (вызывает раздражение слизистых оболочек), ПДК_в 0,1 мг/л¹.

Оксид меди — основной биоцидный компонент отечественных и зарубежных противообрастающих красок, предназначенных для защиты подводной части судов от обрастания. Содержание его в красках на виниловой основе составляет 30—50%.

Получают его восстановлением солей двухвалентной меди различными неорганическими восстановителями в присутствии поверхностно-активных веществ.

Органические соединения свинца используются в составе противообрастающих покрытий реже и в меньших количествах по сравнению с соединениями меди, мышьяка и олова. Используются преимущественно галогениды и ацетаты ди- и триалкил (арил) свинца в качестве моллюскоцидов. Эти соединения, как правило, представляют собой кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях и лишь незначительно растворимые в воде. Высокая токсичность для теплокровных животных ограничивает их использование.

¹ ПДК_в — предельно допустимая концентрация в воде.

Органические соединения мышьяка. Как уже отмечалось, некоторые гетероциклические мышьякорганические соединения проявляют высокую биоцидную активность по отношению ко многим живым организмам. Такие соединения, как 10-хлорфеноксарсин и бис (феноксарсин-10-ил) оксид, находят применение в качестве эффективных антисептиков полимерных материалов. Эти же соединения обладают мощным альдегидным и моллюскоцидным действием и считаются перспективными для использования в качестве компонента противообрастающих красок для морских судов при содержании 3—15% в сухом покрытии. Во многом сходные биоцидные свойства характерны для 10-хлор-5,10-дигидрофенарсазина и бис(5,10-дигидрофенарсазин-10-ил) оксида.

Органические соединения олова обладают широким спектром биоцидного действия на обрастатели, эффективны в низких концентрациях, сравнительно безопасны в обращении. Это один из перспективных противообрастающих агентов. К их числу относятся производные трибутил- и трифенилолова, такие, как гексабутилдистанноксан (или бистрибутилоловооксид, ТБТО), трифенилгидроксистаннан, трибутил- и трифенилфторстаннан и др. Первые два соединения уже упоминались ранее при рассмотрении свойств оловоорганических фунгицидов.

Противообрастающие лакокрасочные покрытия, содержащие низкомолекулярные соединения олова, имеют срок защитного действия, как правило, не более двух лет. Продлить этот срок оказалось возможным при использовании полимерных форм оловоорганических соединений — политриалкилстаннилакрилатов и метакрилатов и их сополимеров с другими органическими мономерами, которые имеют в главной цепи макромолекулы токсифорные триалкилстаннильные боковые группы.

При изучении механизма противообрастающего действия оловоорганических полимерных покрытий было установлено, что в результате гидролиза в морской воде происходит отщепление оловоорганических боковых групп в виде триалкилгидроксистаннана, и одновременно — растворение оставшейся полимерной матрицы, в результате на поверхности открывается новый молекулярный слой оловоорганического полимера. Таким образом, происходит равномерное высвобождение биоцида и постоянство его концентрации в пограничном слое. Средняя скорость растворения пленки полимерного покрытия зависит от многих факторов и составляет 7—9 мкм в месяц для скорости хода судов 12—15 узлов. Если толщина слоя противообрастающего покрытия 300 мкм, то его расчетный срок службы составит около 3 лет (от 33 до 41 месяца).

На основе сополимера трибутилстаннилакрилата и -метакрилата применяются самополирующиеся противообрастающие краски для подводной части судов с маркой «SPC» (Self Polishing Sopolimers). Применение их позволяет защитить судно от обрастания на срок до трех лет и сократить расход топлива по сравнению с обычными противообрастающими покрытиями в среднем на 10%.

ИНСЕКТИЦИДЫ

Инсектициды — это соединения, предназначенные для уничтожения насекомых — вредителей технического сырья и продукции.

По характеру проникновения в организм насекомых инсектициды подразделяют на следующие основные подгруппы: 1) контактные, поражающие насекомых при контакте с любой частью организма; 2) кишечные, проникающие в организм насекомых через органы питания, 3) фумиганты, проникающие в организм насекомых через органы дыхания.

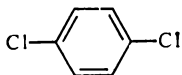
Некоторые из применяемых инсектицидов могут проникать в организм насекомого одновременно несколькими путями.

Соединения, обладающие инсектицидной активностью, встречаются почти во всех классах химических соединений, среди неорганических соединений, углеводов, спиртов, элементоорганических соединений и т. д. Многие из этих веществ получили широкое практическое применение и прежде всего в сельском хозяйстве.

Роль инсектицидов в борьбе с биоповреждениями не столь велика, как в сельском хозяйстве. Она сводится главным образом к защите от повреждения термитами, древоточцами, жуками-кожеедами и молями древесины, кожевенного сырья и изделий из натуральной кожи, шерстяных текстильных материалов, архивных документов и музейных экспонатов. С этой целью обычно применяют истребляющие или репеллентные препараты на основе простых и галогензамещенных углеводов и фосфорорганических соединений.

Одним из наиболее известных инсектицидных препаратов является нафталин. Это белое кристаллическое вещество, $T_{пл} 79—80^{\circ}\text{C}$. Нерастворим в воде, хорошо растворим в органических растворителях. Нафталин оказывает отпугивающее действие на бабочек моли и в небольших масштабах используется как противомольное средство, но он все больше вытесняется другими, более эффективными препаратами.

Более высокой инсектицидной активностью обладает *n*-ди-хлорбензол:



Кристаллическое вещество, $T_{пл} 53^{\circ}\text{C}$. Нерастворим в воде, хорошо растворим в большинстве органических растворителей. Токсичен, его предельно допустимая концентрация в воздухе производственных помещений и помещений, в которых проводится инсектицидная обработка, 20 мг/м^3 .

n-Дихлорбензол применяется в качестве летучего фунгицида и инсектицида для защиты сырой кожи, книг и музейных предметов от повреждения микроорганизмами и насекомыми. Он входит в состав инсектицидного препарата «Антимоль».

ных поверхностях, малая токсичность для теплокровных животных и человека.

Фоксим, гардона и иодфенфос применяются обычно в виде 0,1—1,0%-ных растворов в органических растворителях, при норме расхода 60—100 мл раствора на 1 м² обрабатываемой поверхности. На основе фоксима выпускается инсектицидный препарат «Аэро-антимоль» (0,1%-ный раствор в этиловом спирте).

В оптимальных концентрациях перечисленные препараты высоко эффективны против подвижных стадий развития молей и кожеедов (личинок, гусениц, взрослых насекомых), но не обладают овицидными свойствами. Однако срок остаточного инсектицидного действия (до 8 месяцев) каждого из них превышает период эмбрионального развития насекомых и при выходе из яйца все личинки и гусеницы погибают.

Обработка пушно-мехового и кожевенного сырья указанными препаратами не ухудшает товарные показатели и не затрудняет процессы его переработки. Отсутствие вредного побочного действия фоксима, гардоны и иодфенфоса на материалы позволяет использовать эти препараты для защиты музейных предметов. Эти препараты можно использовать также для сплошной дезинсекции складских помещений и находящихся в них объектов.

АВИЦИДЫ

Химические свойства защиты от птиц подразделяют на: средства уничтожения птиц, приносящих значительный материальный ущерб (авициды), и средства отпугивания птиц от определенных объектов или территорий (авирепелленты).

Избирательно токсичным для птиц и малотоксичным для млекопитающих является старлицид DRS-1339 (гидрохлорид 3-хлор-п-толуидина). Он эффективен по отношению к скворцам, краснокрылым трупиалам, бюльбюлям.

Наиболее эффективны в этой подгруппе авицидов препараты авитрол-100 (N-окси-4-нитропиридин) и авитрол-200 (4-аминопиридин). Оба препарата токсичны для птиц (воробьев, скворцов, голубей, черных дроздов, врановых, чаек и др.) и менее токсичны для других животных и человека. Действие препаратов начинается через 15 мин и длится в течение 20—30 мин. Пораженные птицы при этом издают пронзительные крики ужаса и мечутся в предсмертных судорогах и конвульсиях. Для стайных птиц достаточно такой картины поражения хотя бы одной особи, чтобы панический ужас распространился на всю стаю, рассыпающуюся в смертельном страхе во всех направлениях. Обратно эти птицы больше не возвращаются (репеллентный эффект). Оба препарата широко применяются сейчас в США для уничтожения и отпугивания птиц от садов, полей, аэродромов. В сухую погоду репеллентный эффект сохраняется в течение нескольких недель.

Зона действия авитрола-100 и авитрола-200 охватывает не только обработанные ими участки, но и смежные участки. Испы-

тания авитрола-200 на голубях и перепелах показали, что препарат не кумулируется в организме птиц. Применение авитрола-200 (с расходом 0,34 г/га) не представляет опасности для окружающей среды.

Действием, сходным с действием авитрола, обладает препарат на основе тетраметиленпентадисульфонилтетрамина. Препарат успешно испытывался для отпугивания со свалок грачей и чаек. Через 5—10 мин после попадания в организм птиц этот препарат вызывал крики и судороги у отдельных особей и ответную паническую реакцию у остальной стаи.

Эффективным репеллентом считается препарат лепорекс (хлористый бензолизотионуроний). Имеет резкий запах и горький вкус. Приманки овса, обработанные 1%-ным и 2%-ным раствором лепорекса, отпугивали птиц (грачей, галок, ворон, сорок) от кормушек только запахом. Очевидно, репеллентное действие лепорекса на органы обоняния птиц проявляется после действия на вкусовые хеморецепторы (в условиях исключения действия зрительных рецепторов).

Одним из эффективных химических репеллентов рвотного действия для птиц является препарат DRS-736 или метиокарб (4-метилтио-3,5-ксилил-N-металкарбамат). Метиокарб был ранее известен как инсектицид и лимацид. Репеллентные свойства метиокарба для птиц были обнаружены в Денверском центре США, где с 1961 г. испытывают токсическое действие пестицидов на птиц. Из испытанных здесь за 15 лет более 700 препаратов только два — метиокарб и препарат DRS-3324 показали себя эффективными репеллентами и были внедрены в практику. Оба препарата обладают низкой токсичностью для млекопитающих, не кумулируются, не угнетают роста растений.

Применение гербицидов приводит к изменению биотопа и уменьшению численности популяции птиц. Так, в результате уничтожения тростника и камыша, а также растительности в системе оросительных каналов многие птицы лишаются жизненного пространства. Химическое уничтожение кустарников, камыша и густого высокого травостоя на берегах озер может быть губительным для одних птиц и благоприятным для водоплавающих птиц. Устранение живых изгородей, групп деревьев или отдельных деревьев и проведение других мероприятий лишает возможности насживания птиц и сокращает популяцию птиц.

К аналогичным результатам приводит и уничтожение растительности механическими средствами.

Для уничтожения растительности на аэродромах и в прилегающих районах, производственных площадках, под ЛЭП, вдоль магистральных трубопроводов рекомендуют использовать следующие гербициды.

Симазин — 2-хлор-4,6-бис(этиламино)-сим-триазин. Малотоксичен. Применяют опрыскиванием с нормой расхода при частичном удалении растительности 2—4 кг/га, при сплошном удалении — 15 кг/га.

Полидим — действующее начало 2,3,6-трихлорбензойная кислота. Отличается большой продолжительностью и скоростью действия. Среднетоксичен. Может применяться в сочетании с симазином.

РОДЕНТИЦИДЫ

Родентициды составляют группу биоцидов, предназначенных для борьбы с грызунами. В эту сравнительно немногочисленную группу биоцидов входят фосфид цинка, глифтор, зоокумарин, ратиндан и некоторые другие препараты.

Фосфид цинка — Zn_3P_2 — кристаллическое вещество серого цвета, $T_{пл}$ 1193°C, растворим в горячей воде.

Действие фосфида цинка на грызунов, по-видимому, основано на разложении его под действием соляной кислоты в желудке животного с выделением фосфористого водорода, который и вызывает отравление животного: $Zn_3P_2 + 6HCl \rightarrow 2PH_3 + 3ZnCl_2$. В обычных условиях фосфид цинка стабилен при хранении и в составе приманок.

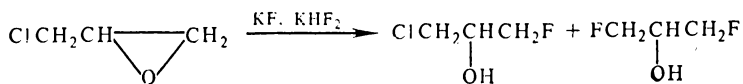
Глифтор представляет собой смесь 70—74% 1,3-дифторпропан-2-ола (действующее вещество), $FCH_2CH(OH)CH_2F$ и 26—30% 1-фтор-3-

хлорпропан-2-ола (примесь), $FCH_2CH(OH)CH_2Cl$. Это бесцветная или

слегка желтоватая жидкость. Смешивается с водой в любых соотношениях.

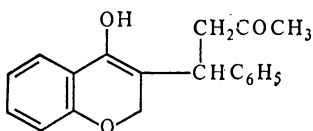
Выпускается в виде 72%-ного жидкого технического препарата. Высоко- или среднетоксичен ($ЛД_{50}$ 45—700 мг/кг для различных экспериментальных животных). Концентрированные водные растворы раздражают слизистые. $ПДК_{р.в}$ 0,05 мг/м³.

Получают глифтор нагреванием эпихлоргидрина со смесью фторида и бифторида калия:



Токсические свойства глифтора обусловлены наличием в молекуле двух атомов фтора.

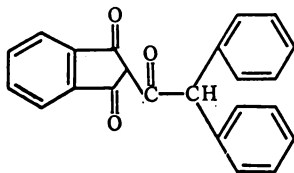
3-(α-Ацетонилбензил)-4-гидроксикумарин (зоокумарин, варфарин)



Белое кристаллическое вещество, $T_{пл}$ 159—161°C, плохо растворим

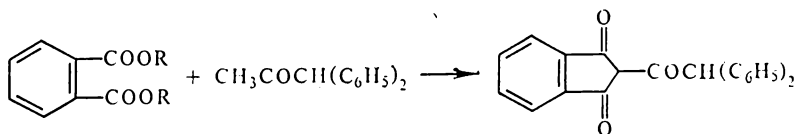
в воде, умеренно растворим в спирте, хорошо растворяется в ацетоне, диоксане. ЛД₅₀ 4—8 мг/кг для крыс, 30—60 мг/кг для собак и кошек, ПДК_{р.з} 0,2 мг/м³.

2-(Дифенилацетил)индан-1,3-дион (ратиндан)



Белое или желтое кристаллическое вещество без запаха, T_{пл} 145—147°C. Практически нерастворим в воде, растворим в ацетоне. Устойчив к внешним воздействиям, не вызывает коррозию металлов. Выпускается в виде 0,5%-ного и 0,18%-ного порошков. Малотоксичен для овец и других домашних животных (ЛД₅₀ 5 мг/кг для крыс). ПДК_{р.з} 1,5 мг/м³.

Ратиндан получают конденсацией дифенилметилкетона с эфирами фталевой кислоты:



Зоокумарин и ратиндан являются антикоагулянтами, они нарушают свертываемость крови и при систематическом введении с пищей в организм животного вызывают внутренние кровоизлияния, а при любом ранении — неостанавливающиеся кровотечения и гибель животного.

Описанные препараты используют в составе пищевых приманок, содержащих 0,5—1,0% действующего начала. Такая форма применения родентицидов эффективна для снижения численности грызунов и предотвращения порчи ими материалов и изделий, находящихся на складах и в других строениях. Однако защита с помощью отравленных приманок изделий, эксплуатируемых вне помещений (например, кабелей, проложенных по поверхности земли или под землей), не дает желаемого результата.

В таких случаях необходимо вводить биоцид непосредственно в защищаемый материал, но пока что ни у нас в стране, ни за рубежом нет таких препаратов, которые обладали бы достаточно сильным действием против грызунов будучи в составе материала. Одно из соединений, с которым сейчас связывают определенные надежды на успех, — сахарид денатониум. Его испытывают в составе пластиков, из которых изготавливают оболочки кабелей, в качестве средства предохранения от повреждения грызунами и термитами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАЩИТЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

Основной стратегией борьбы с биоповреждениями сегодня является локальная защита материалов и изделий. В соответствии с этим на первых этапах проблема развивалась по отдельным узким направлениям, почти не связанным между собой. В настоящее время между отдельными направлениями налаживаются связи. Контакт биологических, химических и технических партнеров имеет особое значение в решении проблемы биоповреждений. Они активно участвуют в инвентаризации биоповреждений и в решении других задач.

Инвентаризация биоповреждающих агентов, повреждаемых ими материалов и изделий имеет огромное значение. Каталог биоповреждений, включающий живые организмы, повреждаемые объекты, а также методы защиты, необходим для разработки программ по прогнозированию и перспективным мероприятиям, для создания новых материалов с биоцидными свойствами. Сложность в выявлении биоповреждений, их каталогизации объясняется не только разнообразием живых организмов, нападающих на материалы и изделия, но и тем, что круг биоповреждающих агентов все расширяется. Появляются новые материалы и изделия, и биосфера использует новые средства и формы защиты.

На сегодняшний день знания о биоповреждениях напоминают сложную мозаику «конфликтных» взаимоотношений живых организмов, материалов и изделий в условиях почвы, водной и наземной сред. Оценка и анализ хозяйственных ситуаций, связанных с биоповреждениями, не могут осуществляться путем перебора всех ячеек мозаики — это делает задачу невыполнимой по крайней мере в обозримое время. В проявлении биоповреждающих свойств в различных группах животных, растений и микроорганизмов, различных классах материалов и изделий, в их взаимоотношениях друг с другом следует искать сходные, параллельные черты.

Биоповреждающие агенты в естественных биоценозах имеют свои природные мишени, «защищенные» самой природой. Взаимоотношения организмов с объектами их нападения в природных условиях могут подсказать новые подходы к разработке классификации биоповреждающих явлений и новые способы защиты от биоповреждений.

Проблема биоповреждений ни в теоретическом отношении, ни практически не может решаться вне общеэкологических и технологических программ, направленных на защиту окружающей среды от загрязнений. Используя живые организмы, мы очищаем планету от старых отработавших свой срок материалов и изделий. Защищая действующие нужные нам материалы и изделия от биоповреждений с помощью химических средств защиты, мы в то же время в какой-то степени загрязняем этими средствами окружающую среду. Процессы биоповреждения действующих материалов и биоразрушения отработавших протекают в одних и тех же экологических условиях, и задача заключается в том, чтобы защищаться от одних и поставить на службу человеку другие.

Мы рассмотрели современное состояние проблемы биоповреждений, включая виды микроорганизмов, растений и животных, повреждающих различные материалы, изделия, сооружения и устройства, а также используемое для их изготовления сырье в стадии добычи, хранения, транспортировки и обработки, разнообразные защитные средства, имеющиеся в распоряжении специалиста на сегодняшний день. Но мы должны постоянно помнить о том, что эти сведения быстро стареют, так как развитие проблемы характеризуется высокой скоростью и динамизмом. Человек создает все новые и новые материалы и изделия из них, строит новые сооружения и технические устройства. Постоянно разрабатываются и воспроизводятся новые защитные средства. Растущее загрязнение среды материалами и изделиями рекрутирует в число биоповреждающих агентов все новые виды и популяции.

Для того чтобы предусмотреть и использовать это непрерывное обновление проблемы и завтра быть во всеоружии по отношению к биоповреждающим агентам не в меньшей, а в большей степени, чем сегодня, мы должны решить важные перспективные задачи. Одной из таких задач является каталогизация биоповреждающих агентов, основанная на их взаимоотношениях с повреждаемыми объектами, применяемых против них средств защиты. Эта трудоемкая работа начата подготовкой первых выпусков «Каталога биоповреждений на территории СССР», однако ее следует рассматривать как непрерывно текущий процесс, основанный на пополнении все новых и новых сведений и данных, поступающих по мере развития науки и техники. Конечно, не всегда возможно предусмотреть характер этого пополнения, однако уже сегодня определенная часть видов и популяций обнаруживает явную тенденцию к тому, чтобы в ближайшем будущем стать биоповреждающими агентами. С другой стороны, совершенно очевидным источником новых биоповреждающих ситуаций будут экологические аналогии, имитирующие биоповреждающие взаимоотношения в природе. Наконец, постепенно, по мере освоения новых территорий, их индустриализации расширяется география биоповреждений за счет того, что виды и популяции, до сих пор не наносившие ущерба в глухих уголках планеты прежде всего из-за отсутствия подходящих объектов, с появлением последних становятся obligat-

ными «биоповрежденцами», требующими специальных защитных мер.

Таким образом, значительная часть будущего пополнения поступит из подобного «резерва» и в связи с этим мы должны проявлять к нему самое пристальное внимание, изучать и каталогизировать включенные в него виды и популяции. Наряду с простой регистрацией биоповреждений, как действующих, так и потенциальных, мы должны всесторонне и полно изучать механизмы биоповреждающего воздействия, в том числе и в биоценотическом аспекте, используя для этой цели их экологические прототипы.

Метод экологических аналогий, разработанный советскими учеными, позволяет изучать многие аспекты биоповреждающего процесса, используя для этой цели в качестве модели их природные аналоги, которые также необходимо выявлять и каталогизировать.

Говоря о каталогизации биоповреждений и их природных аналогов, мы должны обращать особое внимание на мозаичность в возникновении биоповреждений, имея при этом в виду общую нестабильность и динамику мозаичного распределения как в отношении систематического и классификационного положения компонентов, так и в отношении географической, биоценотической и природно-зональной локализации биоповреждений. Всестороннее изучение этих явлений создает необходимую основу для прогнозирования биоповреждений как в отношении отдельных локальных территорий, так и в масштабе крупных регионов.

Прогнозирование и профилактика биоповреждений становятся близкой реальностью, и уже сегодня ученые и практики своей работой создают для этого необходимые предпосылки в отношении отдельных биоповреждающих видов.

Вместе с тем необходимо иметь в виду, что в основе будущих прогнозов и профилактических мероприятий должны лежать не только локальные мероприятия, но прежде всего всеобъемлющая система мероприятий, учитывающая все многообразие экологических и социально-экономических факторов, влияющих на возникновение и развитие биоповреждений. Перспектива создания такой системы выдвинута советскими учеными в качестве одного из главных положений эколого-технологической концепции биоповреждений, согласно которой будущее проблемы и результаты ее решения представляются в следующем виде: научно обоснованная система практических мероприятий, основанная на прогнозировании и профилактике, составляющая часть биосферного мониторинга, учитывающего весь комплекс экологических и социально-экономических факторов, предусматривают использование биоповреждений в качестве деструктора, разрушителя, утилизатора отслуживших свой век материалов под наблюдением человека и его контролем с ограничением и блокированием иных проявлений биоповреждающего действия. Конечно, создание такой системы мы рассматриваем как далекое будущее, но, чтобы оно осуществилось, мы должны усиленно работать уже сегодня.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Актуальные вопросы биоповреждений / Под ред. Б. В. Бочарова. М., 1983. 236 с.
- Андреев Е. И., Билай В. И., Коваль Э. З., Коблова И. А. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев, 1980. 287 с.
- Беккер З. Э. Физиология грибов и их практическое использование. М., 1963. 268 с.
- Биоповреждения в строительстве / Под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горшина. М., 1984. 320 с.
- Благник Р., Занова В. Микробиологическая коррозия. М., 1965. 222 с.
- Воронцов А. И. Насекомые — разрушители древесины. М., 1981. 176 с.
- Герасименко А. А. Защита материалов от биоповреждения. М., 1984. 112 с.
- Жантеев Р. Д. Жуки-кожееды (семейство Dermestidae) фауны СССР. М., 1976. 182 с.
- Жданова Н. Н., Василевская А. И. Экстремальная экология грибов в природе и эксперименте. Киев, 1982. 168 с.
- Жужиков Д. П. Термиты СССР. М., 1979. 224 с.
- Загуляев А. К. Моли — вредители меха, шерсти и борьба с ними. М., Л., 1958. 194 с.
- Защита материалов и технических устройств от птиц / Под ред. В. Д. Ильичева. М., 1984. 239 с.
- Зевина Г. Б. Обрастание в морях СССР. М., 1972. 214 с.
- Зевина Г. Б., Лебедев Е. М. Морское обрастание / Биоповреждения материалов и изделий. М., 1971. С. 88—158.
- Ильичев В. Д. Управление поведением птиц. М., 1984. 303 с.
- Ильичев В. Д., Бочаров Б. В., Горленко М. В. Экологические основы защиты от биоповреждений. М., 1985. 261 с.
- Курс низших растений. М., 1981. 519 с.
- Лебедева Г. Д. Обрастание в пресных водах // Биоповреждения материалов и изделий. М., 1971. С. 5—75.
- Микроорганизмы и низшие растения — разрушители материалов и изделий / Под ред. М. В. Горленко. М., 1979. 255 с.
- Морское обрастание и борьба с ним. М., 1957. 501 с.
- Насекомые и грызуны — разрушители материалов и технических устройств / Под ред. Н. М. Наумова. М., 1983. 275 с.
- Наумов Н. П., Карташов Н. Н. Зоология позвоночных. М., 1979. 272 с.
- Обрастание и биокоррозия в водной среде / Под ред. О. Г. Резниченко и И. В. Старостина. М., 1981. 278 с.
- Якоби В. Э. Биологические основы предотвращения столкновений самолетов с птицами. М., 1977. 166 с.

Дополнительная

- Альберт Э. Избирательная токсичность. М., 1971. 400 с.
- Анисимов А. А., Смирнов В. Ф., Веселов А. П. Микроорганизмы повреждают полимеры // На грани химии и биологии. М., 1982. 65 с.
- Анисимов А. А., Смирнов В. Ф. Биоповреждения в промышленности и защита от них. Горький, 1980. 81 с.
- Биоповреждения в промышленности / Под ред. А. А. Анисимова. Горький, 1983. 100 с.
- Горшин С. Н. Консервирование древесины. М., 1977. 335 с.
- Готтшалк Г. Метаболизм бактерий. М., 1982. 310 с.

- Гуревич Е. С., Искра Е. В., Куцевалова Е. П. Защита морских судов от об-
растания. Л., 1978. 200 с.
- Какалиев К. Инструкция по противотермитной профилактике и борьбе с тер-
митами. Ашхабад, 1983. 52 с.
- Каневская И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.,
1984. 230 с.
- Колонтаров И. Я., Ливерант В. Л. Придание текстолитным материалам био-
цидных свойств и устойчивости к микроорганизмам. Душанбе, 1981. 201 с.
- Кондратьева Е. Н. Хемолитотрофы и метилотрофы. М., 1983. 170 с.
- Лебедев Е. М. Морские камнеточцы // Биоповреждения материалов и изде-
лий. М., 1971. С. 229—256.
- Литвиненко С. Н. Защита нефтепродуктов от действия микроорганизмов. М.,
1977. 143 с.
- Мельников Н. И. Химия и технология пестицидов. М., 1974. 766 с.
- Мельников Н. И., Новожилов К. В., Пылова Т. Н. Химические средства за-
щиты растений (справочник). М., 1980. 288 с.
- Наумов Н. П. Экология позвоночных. М., 1970.
- Пастернак Р. К. Древоточцы морей СССР // Биоповреждения материалов
и изделий. М., 1971. С. 174—228.
- Персов М. П. Мебельный точильщик и меры борьбы с ним. М., Л.,
1966. 40 с.
- Резниченко О. Г., Солдатова И. Н., Цихон-Луканина Е. А. Обрастание в
Мировом океане // Итоги науки и техники. Сер. зоол. беспозв. 1976. Т. 4. 120 с.
- Рябчиков П. И. Распространение древоточцев в морях СССР. М., 1957.
229 с.
- Справочник по пестицидам. М., 1985. 350 с.
- Тарасов Н. И. Биология моря и флот. М., 1943. 192 с.
- Тарасов Н. И. Море живет. М., 1949. 287 с.
- Тоскина И. Н. Насекомые, разрушающие произведения искусства и памят-
ники архитектуры. М., 1966. 20 с.
- Шилов И. А. Физиологическая экология. М., 1985. 328 с.
- Antifungal Compounds / Ed. by J. Siegel and R. Maicorn, N.-Y., 1977, v. 1,
640 pp.
- Biodeterioration Investigation Techniques / Ed. by A. H. Waiters, L., 1977,
245 p.
- Desinfection, Sterilisation and Preservation / Ed. by S. Block, Philadelphia,
1977, 1050 pp.
- Marine Boring and Fouling Organisms / Ed. D. L. Ray. Seattle Univesity of
Washington press, 1959, 536 pp.
- Microbial Aspects of Deterioration of Materials / Ed. by R. J. Hilbert, L., 1975,
255 p.
- Zyska B. Microbiologiszną, Korozja Materialov. Warszawa, 1977, 447 s.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- АБДМ-хлорид 324
АБП-10 316
АБП-40 316
Авитрол 100, 156, 333
Авициды 298, 333, 334
Автотрофы 30, 37
АГС-4 316
Азостероиды 249
Алдрин 185
Альгициды 298, 330
Альфа-хлоралоза 155
4-Аминопиридин 156
Антибиотики 243, 248
Антикоагулянты 184, 336
Антиметаболиты 137
Антимоль 331
Антисептики 281, 282
Антифиданты 96
Аскомицеты 43, 44, 53, 56, 75
АТМ-хлорид 324
Аттрактанты 96
Аттрактивность 129, 131
- Базидиомицеты 44, 46, 53, 56, 75, 104
Бактерициды 238, 240, 298, 322, 326
Бактерии 189, 260, 275
— железобактерии 37, 231
— нитрифицирующие 35
— сульфатредуцирующие 33, 34, 228, 275
— тионовые 35, 230
— защита 277, 326
Бактирам 326
Бензимидазол 249
Бетон 35, 40, 230
Биоповреждающая ситуация 11, 13, 17, 23
Биоповреждающий процесс 10, 14, 16
— факторы 25
Биоповреждения 9, 10, 14
— агенты 11, 15, 20, 22
— источники 11
— классификация 252
— объекты 11, 20, 22
— принцип мозаичности 20
— ущерб 7, 114
— эколого-технологическая концепция 12, 14
Биосфера 15, 25
Биоценозы 13, 25, 107
Биоциды 237, 250, 272, 288, 296
— классификация 298
— методы исследования 299
— характеристика основных групп 244
- Бис (феноксарсин-10-ил) оксид 330
Битумы 219
Бромистый метил 185
Бун 187
Бумага 124, 163, 176
— защита 284
- Вазин 327
Ванцид 51 322
Ванцид ТН 327
Варфарин 184, 335
Винил 182
Водоводы 193
Водоросли 189, 193, 207, 255
Войлок 176
Волокна искусственные 123, 179, 287
— натуральные 123, 179, 286
— синтетические 40, 123, 179, 287, 288
— защита 288, 289
- Газонаполненные пластмассы 124, 176
Галогенуглеводороды 304
Гардона 332
Гексаметилендиамин 238
Гексахлорофен 247, 323
Гербициды 298
Герметики 176
Гетеротрофы 30, 37
Гидролазы 213
Гидротехнические сооружения 207
Глифтор 184, 335
Грач 145
Грибостойкость (испытания) 253, 300
Грибы 189, 226, 276, 279
— защита 136, 244, 247, 277
— клетка 48, 50, 52
— олиготрофы 61, 86, 263
— полифаги 48, 60
— психротолерантные 71
— устойчивость к УФ-облучению 77
Грызунонепроницаемость 183
Грызуны 157, 256
— грызущая деятельность 174, 176, 184, 256
Губки 190
- ДДВФ 97
Дегидрогеназы 212
Деструкция 33
Дейтеромицеты 47, 48, 53, 56, 75
Дикарионы 44
Диоксид серы 185
Диоксид углерода 185
Дитиокарбоматы 248
n — Дихлорбензол 331

- Дихлорофен 305, 306
 Дихлорэтан 97
 Дихромат натрия 302
 Дифенил 303
 Диэдрин 97, 185
 ДОН-52 326
 Древесина 108, 125, 179, 201, 205, 218, 278
 — защита 102, 108, 125, 281
 Древооточцы 201, 202, 203, 205

 Жилые постройки 101, 161, 163, 168

 Зерновые культуры 163, 164
 Зигомиты 42, 43, 48, 56
 Зоокумарин 184, 335
 Зооциды 298

 Иголки 193
 Индантрон 184
 Инсектициды 97, 298, 331, 332
 Иодфенфос 332

 Кабели 135, 163, 175, 180, 185, 186, 207
 — резиновая изоляция 261
 — защита механическая 186
 — — химическая 186
 Камень 35, 40, 207, 230
 Камнеточцы 207
 Каптакс 321
 Каптан 248, 308
 Катализа 212
 Катамин АБ 324
 Катапин 247
 Каучук натуральный 40, 260
 — силиконовый 261
 — синтетический 260
 Книжки 283
 Кожа искусственная 179, 257
 — натуральная 40, 95, 179, 290
 Кожеды 89, 92, 95
 — защита 96
 Конидиеносец 44, 56, 57
 Конидия 44, 47, 56, 57
 Коремия 44, 56
 Коррозия металлов (биологическая)
 34, 35, 38, 229, 231, 271, 276
 — защита 277
 Кремнефторид натрия 302
 Креозот 116, 136, 303
 Ксерофилы 79, 86
 Крысы 161, 180
 Кумарин 184

 Лакокрасочные покрытия 180, 263, 330
 Летилян 327
 Липазы 215
 Лигнин 218
 Лигниназа 218
 Липазы 213
 Литотрофы 30, 37
 Ложь 44, 56

 Масла 270
 Метионарб 156, 334
 Мерттиолат 313
 Микохромы 75
 Мистокс 307
 Мицелий воздушный 50, 407
 — гетерокарпический 54, 55
 — клеточный (септированный) 49
 — неклеточный (ценотический) 49
 Млекопитающие 157
 Моли 97
 — повреждения 98, 99
 — защита 97, 100
 Моллюски 190, 209
 Моллюскоциды 298, 328, 330
 Монохлорацетаминоканифоль 245
 Мшанки 190, 207
 Мыши 161, 180
 Мышьякорганические соединения 316

 Наполнители 257, 261
 Насекомые вредители 88, 89, 95
 — кератофаги 91
 — ксилофаги 90, 101, 104
 — защита 97, 100, 134, 298, 332
 — число видов 89
 Натрия метасиликат 322
 Нафтенат меди 310
 Невода 187
 Непредельные углеводороды 219
 Неопинамин 97
 Неорганические соединения 301, 302
 Нетканые материалы 179, 284
 Нефтепродукты 224
 Нефть (защита от СРБ) 326
 Нипагин-М 310
 Нитрификаторы 230
 4-Нитрофенол 258, 305
 Ниртан 324, 326
 Норы 161, 165, 171

 Обрастание морское 187, 188, 189
 — пресноводное 188, 193
 — защита (противообрастающие по-
 крытия) 266, 267, 328, 330
 Обрастателей распространение 198
 — сообщества 194, 195, 196
 — численность 188
 — экология 197, 198
 Оболочники 193
 Оксигеназы 212
 Оксид 185
 Оксид меди 329
 Оксидазы 212
 2-Оксидифенил 258, 304, 305
 Оксидоредуктазы 212
 8-Оксихинолин 319
 8-Оксихинолят меди 258, 320
 Оксофин 317
 Оловоорганические соединения 185,
 414
 Ондатра 161

Органотрофы 30, 37, 38
Оросительные каналы 161, 164, 174

Памятники культуры (произведения искусства) 29, 96, 101, 145, 147, 226

Парасексуальный процесс 57

Пектинэстераза 214

Пенопласт 124, 180, 181

Пенополистирол 180

Пенополиуретаны (полиуретаны) 124, 180, 217, 222

Пентахлорфениллаурат 307

Пентахлорфенол 247, 306

Пентахлорфенолят натрия 238

Пептидогликан (муреин) 233

Песчанка 161, 164, 166, 167

Пероксидаза 212

Пигменты 263, 265

Пикниды 44, 56

Питательные среды 62

Пластики 255

— грибостойкость 256

— защита 258

Пластификаторы 217, 255, 256

Пластмассы 40, 129

— литые 126

Пленки 54

Поверхностно-активные соединения 243

Повреждения непищевые 133, 135

— пищевые 88, 98, 116, 135

Полевки 161, 164, 169, 174

Полиамиды 217, 222

Полвинилацетатные материалы 247

Полвинилхлорид 126, 163, 222, 257

Полигалактуроноза 214

Полидим 335

Поликарбонат 182

Полимерные смолы 256

Полиоксины 243

Полипропилен 179

Полихеты 190, 207

Полнэтилен 124, 126, 163, 222

Приборы 29, 115, 187, 223

Провода 159, 180

Проволока 176, 180

Протеиназы 214

Протопектиназа 214

Пряжки 44, 50

Психрофилы 71

Птицы 139

— биоповреждающие виды 144

— гнездование 144, 145, 146, 147

— защита 11, 14, 20, 152, 153, 248

— миграция 141, 148, 149, 151

— образ жизни 144, 145, 146

— ориентация 141

— питание 144, 145, 146

— распространение 140

— сигнализация 142

— синантропизм 141

— управление поведением 153

— экология 140

Птицестойкость 148

Пушно-меховое сырье (повреждения) 146

Ратиндан 184, 336

Резина 35, 176, 178, 219, 230, 259

— грибостойкость 238

— защита 262

Резистентность 184

Репелленты 97, 136, 156, 176, 185, 334

Ризоиды 52

Ризоморфы 51, 52

Родентициды 298, 335, 336

С-85 326

Самолеты 148, 149, 185

— защита 150, 298, 333, 334

Сапротрофы 59

Салициланилид 258, 289, 309

Сван 206

Свинец 185

Свойства материала 129

— антибиотические 131

— механические 125

— органолептические 129

— стойкость 131

— твердость 127, 182

— характер поверхности 129, 130, 181, 196

Серая ворона 145

Серебристая чайка 144

Сети 187

Сизый голубь 144, 145

Спмазин 334

Синтактовые пены 180

Скворец 145

Смазочно-охлаждающие жидкости 38, 225, 270

— защита 271, 272

Смазочные материалы 38, 270

Спирты 304

Спорангиеносец грибов 42

Столony 52

Строительные материалы 38, 175, 230

Субстрат 131

Суда морские 185, 193, 196, 205, 266

— речные 185, 196, 266

Сульфесин 82

Сульфат меди 302

Таллом 48

Тара 161, 186

ТБТО 315, 330

Термиты 103

— биомеханика 119, 122, 128

— гнездо 111, 114

— защита строений 116, 118, 336

- зоны вредоносности 117
- распространение 106, 107, 108, 109
- челюстной аппарат 119, 120, 122, 128
- численность 107, 114, 115
- Термотолерантные грибы 70, 73
- Термофилы 70, 73, 215
- Технические изделия 294, 295
- Тиазон 328
- Тиоловые группы (сульфгидрильные) 240
- Тиурам 156, 261
- Ткани 48, 98, 163, 179, 285, 287
- защита 96
- ТМТД 311
- Токсичность 137, 185, 241
- Топлива 38, 268, 270
- защита 269
- Точильщики 101, 102
- защита 102
- Трициклогексилстаннан 185
- Трифенилгидроксисаннан 316, 330
- Трофические связи 80
- Тяжелые металлы 217
- Тяжи 51

- Углеводороды 303
- ароматические 219
- непредельные 219
- Укринол-1 325
- Упаковка 175, 184, 256
- УФ-лучи 76

- Факторы окружающей среды 30, 99, 263
- излучение 74, 76, 78
- кислород 63
- кислотность 30, 58, 64, 216
- относительная влажность воздуха 67, 99, 102, 118, 263, 283
- температура 70
- Фенолы 304
- Фенопласт 222
- Фентолацин 184

- Ферменты 241
- Фоксим 97, 332
- Фосфатазы 213
- Фосфид цинка 184, 335
- Формальдегид 325
- Фоторецепторы 75
- Фототропизм 75
- Фототрофы 30
- Фталан 248, 308
- Фталимиды 248
- Фторацетат натрия 183, 184
- Фторид натрия 302
- Фтординитробензолы 247
- Фторопласт 222
- Фумигация 97, 100, 102
- Фунгициды 240, 284, 291, 298, 301
- летучие 295
- Фурацилин 325

- Хемотрилленты 185
- Хемотрофы 30, 31
- Хиноны 247
- Халицоспора 55
- Хлордан 185
- Хлорирование 323
- Хлорокись меди 238
- Хлорпикрин 185
- Хлорфеноксарсин 330
- ХЦА 312

- Целлюлаза 214
- Циклогексамид 185
- Цимат 310
- Цимид 258, 309

- Экзоферменты 211
- Экологическая среда 10
- Электроизоляционные материалы 224
- Элементарные органические соединения 312
- Эндрин 156
- Энергетические установки 145, 147
- Эпоксар 318
- Эстабекс АБФ 317
- Этилмеркурфосфат 313
- Эукариоты 41

УКАЗАТЕЛЬ ЛАТИНСКИХ НАЗВАНИЙ

- Absidia corimbifera* 74
- Achromobacter* 39
- Acrothoracica* 210
- Actinomyces* 38, 189
- *diastaticus* 216
- *rimosus* 215
- Aeolidacea* 195
- Aerobacter aerogenes* 40
- Alternaria* 48, 68, 76, 80, 83, 212, 263

- *dianthicola* 77
- *geophila* 81
- *tenuis* 59, 81, 83, 220
- *tomato* 75
- Amitermes rhizofagus* Bel. 114
- Amphipoda* 192, 204
- Amorphotheca resinae* Parbery 44
- Amyloporia xantha* 47
- Anacanthotermes*

- ahngerianus 111, 112
- turkestanicus Jacobs 110
- Anobiidae** 88, 89
- Anobium punctatum** Deg. 101
- Anoplostermes** 104, 109
- Anthrenus** 92, 94, 96
 - flavidus Sols. 96
 - (picturatus Sols 96
 - pimpinellae F. 96
 - variabile Ball. 96
 - verbasci (L.) 96
- Arctiidae** 90
- Aspergillus** 48, 68, 80, 212, 225, 244
 - amstelodami, 81, 83, 330
 - candidus 73, 81, 284
 - echinatus 83
 - flavus 59, 60, 68, 218, 221
 - glaucus 67, 68, 81, 220
 - glaucus var. tonophilus 86
 - melleus 81
 - nidulans 44, 68, 78, 81, 83
 - niger 59, 62, 74, 83, 216, 245, 254, 300
 - penicilloides 86
 - oryzae 64, 81, 216, 220
 - repens 81, 83
 - restrictus 68, 83
 - ruber 81, 83
 - restrictus 68, 83
 - terreus 68, 76, 84, 216
 - versicolor 59, 68, 81, 83
- Arthrobacter** 37, 40
 - paraffineus 38
 - simplex 38
- Artiodactyla** 159
- Ascomycetes** 41, 42
- Asterioidea** 193
- Asymmetrica** 80, 83
- Attagenus** 92, 94, 95, 96
 - augustatus Ball. 96
 - lobatus Ros. 96
 - simulans Sols 96
 - smirnovi Zhant 96
 - unicolor 96
- Aureobasidium pullulans** 63, 83
- Bacillus** 38
 - cellulosae — dissolvens 39
 - macerans 39
 - megatherium 40
 - mesentericus 40, 291
 - mycoides 40
 - polymyxa 39
 - subtilis 33, 38, 40, 291
 - herbicola 40
- Bacterium** 38
- Balanomorpha** 188
- Balanus** 188, 193, 198
 - amphitrite 193, 198
 - balanus 193, 198
 - crenatus 193, 198, 200
- eburneus 188, 193, 198, 200
- improvisus 193, 198, 200
- pacificus 193, 197
- tintinnabulum 198
- Bankia** 204
 - setacea 206
- Bankiinae** 202
- Barnea** 210
 - candidus 210
 - japonica 210
 - manilensis inornata 210
- Basidiomycetes** 41, 42, 44
- Bivalvia** 192, 204
- Blastobasidae** 90
- Blastomyces** 72
- Blattoptera** 89
- Bostrychidae** 89
- Botrillus** 193
- Botrytis cinerea** 68, 75, 81
 - gladiolum 75
- Botula** 208
- Bowerbankia** 194
- Bryozoa** 190
- Bugula** 194
 - neritina 198
- Buprestidae** 89
- Callidium violaceum** L. 101
- Callionella** 37, 274
- Candida utilis** 237
- Cellvibrio** 39
- Cephalosporium** 61, 263
 - acremonium 81
 - coremioideus 81
- Cerambycidae** 88, 89
- Cereospora carthami** 74
- Chaetomium** 44, 214, 270, 279
 - globosum 44, 66, 81, 83
 - olivaceum 44
- Charadriiformes** 144
- Chelura terebrans** 205
- Chloronema** 37
- Chrysosporium** 68, 79
 - xerophilum 68
- Chytridiomycetes** 41
- Cirripedia** 193
- Cisidae** 89
- Cladosporium** 44, 48, 68, 77, 257, 279
 - cladosporioides 73, 81
 - herbarum 72, 81, 83, 287
 - resinae 80, 85, 225, 270
 - sphaerospermum 61, 81
- Cleridae** 89
- Clione vastifica** 210
- Clonothrix** 37
- Closiphon** 209
- Clostridium felsineum** 39
 - pectinovorum 39
- Coccospora agricola** 65
- Coileoptera** 88, 89, 92
- Columbidae** 144

Columbiformes 144
 Conchoderma 188, 199
 Coniophora 279
 — cerebella 51
 — puteana 47, 70
 Coniophoraceae 47
 Conopeum 188
 Corpinus lagopus 78
 Corallana 204
 Corallanidae 204
 Cordylophora 188
 — caspia 200
 Corinebacterium 38
 Coriolus vaporarius 47
 Corvidae 145
 Corynebacterium glutamicum 38
 Cossidae 90
 Crenothrix 37
 Cricetidae 163
 Criocephalus rusticus 101
 Crustacea 192
 Cucujidae 89
 Curculionidae 88, 89
 Curvularia 68
 — geniculata 73
 — lunata 75
 Culindrocarpon magnustatum 72
 Cytophaga 39

Dactylaria gallopava 74
 Decapoda 193
 Dermestes frischeri Kug. 92, 93, 94, 95,
 96
 — lardarius 95
 — maculatus Deg. 95
 — sibiricus Fr. 95
 Dermestidae 88, 89, 92, 95
 Dermestinae 92, 93
 Desulfobacter 34
 Desulfobulbus 34
 Desulfococcus 34
 Desulfomonas 34
 Desulfonema 34, 35
 Desulfotomaculum 34, 274
 — nigrificans 34
 — orientis 34
 Desulfovibrio 34
 — africanus 34
 — desulfuricans 30, 34
 — salexigenes 34
 — vulgaris 34
 Deuteromycetes 41, 42, 47, 189
 Diplodia 83
 Dreissena 192
 Dreissensiidae 188

Echinodermata 193
 Echinoidea 210
 Echinometra lucunter 210

Eidamella deflexa 81
 Electra 194
 Emericella nidulans 44
 Endomycetidae 89
 Eremascus 79
 Errantia 190
 Escherichia coli 239, 254, 271
 Eurotium 44
 — amstelodami 44
 — herbariorum 44
 Euterobacter aerogenes 38

Flavobacterium 39, 263
 — hydrophilum 40
 Fomes roseus 64
 Fomitopsis annosa 47
 Fridecellaria 190
 Fungi imperfecti 47
 Fusarium 65, 67, 68, 80, 213, 221, 257
 — eumartii 64
 — moniliforme 66, 75, 76
 — nivale 72
 — orthoceras 65
 — oxysporum 64, 81, 86
 — sporotrichiella 81
 Ganoderma applanatum 56
 Gastrochaena dubia 210
 Gastropoda 192
 Gelechiidae 90
 Geotrichoides 72
 Geotrichum candidum 68, 81, 212, 300

Haliotis 210
 Helminthosporium oryzae 75
 — victoriae 76
 Hepialidae 90
 Herpotrichia nigra 72
 Hiatella arctica 200, 210
 Humicola lanuginosa 74
 Hydroidea 190
 Hymenoptera 89
 Hypochytriomycetes 41
 Hypoxylon diathrauston 72

Insecta 193
 Isopoda 193, 204
 Isoptera 89, 109

Kaloterms flavicollis Fabr. 109
 115
 Kamptozoa 188

Lagomorpha 158
 Laridae 144
 Lepadomorpha 188

Lepas 188, 199
 — *anatifera* 193
 — *beringiana* 193
Lepidoptera 89
Leporidae 159
Lepralia 194
Leptospirillum ferrooxidans 37
Leptothrix 37
Limnoria 204, 206
 — *borealis* 205
 — *lignorum* 205, 206
 — *tripunctata* 205
Limnoriidae 204
Lirodus pedicellata 205
Lithophaga 209
Lithothrya 209
Loricata 192
Lyctidae 89
Lymexylonidae 89

Martesia 207

Martesiinae 204
Megatominae 92, 93, 94, 96
Melandryidae 89
Membranipora 188
Membraniporidae 191
Mercierella enigmatica 190
Microcerotermes turkmenicus Lupp. 114
Micromonospora 39
Molgula manhattensis 194
Mollusca 192
Momphidae 90
Monilia sitophila 81
Monopis 97
 — *rusticella* Hb. 98
Monoverticillata 80, 83
Mortierella 65
 — *alpina* 65
 — *lignicola* 42
 — *minutissima* 65
 — *ramanniana* 65
 — *vinacea* 42
Mucor 42, 220
 — *hiemalis* 42, 65
 — *mucedo* 72
 — *plumbeus* 82
 — *pusillus* 74
 — *racemosus* 42, 82
Muridae 161
Mycelia sterilia 72
Mycobacterium smegmatis 38
Mycogone nigra 65
Mycota 189
Mytilaster lineatus 192
Mytilidae 192
Mytilus edulis 192, 200
 — *galloprovincialis* 192

Nausitora 201

Nettastomella japonica 210

Neurospora 242
Nitidulidae 89
Nitrobacter 35, 36
 — *winogradskyi* 36
Nitrobacteriaceae 35
Nitrosococcus 35
 — *oceanus* 36
Nitrosolobus 35
Nitrosomonas 35, 36, 230
 — *europaea* 36
Nitrospira 35
Nitrosovibrio 35
Nitrospira 35
Nocardia 38, 39
 — *petroleophila* 38
Noctuidae 90
Nonruminantia 159
Notodontidae 90
Nototeredo norvegica 206

Obelia 194

Ochotonidae 158
Ochrobium 37
Octopus vulgaris 209
Oedemeridae 89
Oenophilidae 90
Oomycetes 41
Orthoptera 89
Ostomatidae 89
Ostracoda 193
Ostraea edulis 192

Paecilomyces 68

— *variotii* 68, 81, 213
Paralimnoria 204
Passeriformes 145
Penetratia 209
Penicillium 45, 48, 67, 75, 80, 83, 221, 225, 257
 — *ammoniophylum* 62
 — *brevi* — *compactum* 30, 81, 83
 — *chrysogenum* 59, 64, 68, 71, 81, 82, 213, 220
 — *citrinum* 82
 — *commune* 82, 284
 — *crustosum* 82
 — *cyaneo-fulvum* 82
 — *cyclopium* 213, 300
 — *decumbens* 82
 — *expansum* 68
 — *frequentans* 68, 82, 83
 — *funiculosus* 68, 82
 — *glaucum* 82, 220
 — *implicatum* 68, 82
 — *janthinellum* 71, 82
 — *nigricans* 83, 86, 238, 244
 — *notatum* 61, 71, 76, 82
 — *palitans* 82
 — *purpureus* 82

- *purpurogenum* 82, 220
- *regulosum* 82
- *roquefortii* 82
- *rubrisclerotium* 220
- *sclerotiorum* 76
- *tyrbatum* 83
- *variabile* 65, 82
- *verrucosum* var. *cyclopium* 68, 82, 86
- — *viridicatum* 68, 82
- Penicipelea vittiger* 195
- Peniophora mollis* 73
- Penitella penita* 210
- *chishimana* 210
- Perigonimus megas* 200
- Petricola* 208, 209, 210
- Phacidium infestans* 72
- Phaloniidae* 90
- Phascolosoma* 209
- Pholadidae* 202, 203, 204
- Pholas* 207, 209
- *dactylus* 209, 210
- Phoma* 62, 65, 76, 83
- *glomerata* 82
- *pigmentivora* 82
- Phycomyces blakesleeenans* 49
- Phytophthora* 60
- Pieridae* 90
- Plenodomus meliloti* 72
- Plumatella* 190
- Polychaeta* 190
- Polydora* 209, 210
- *ciliata* 204
- Polyporacea* 47
- Pseudomonas* 38, 39, 40, 212, 265, 270
- *aeruginosa* 38, 239, 269, 276
- *fluorescens* 33, 38, 40
- *herbicola* 40
- *oleovorans* 38
- Psiloteredo megotara* 206
- Psocoptera* 89
- Ptinidae* 88, 89
- Puccinia* 62
- Pullularia* 62, 263
- *pullulans* 82
- Pyrallidae* 88, 90

- Reticulitermes flavipes* 134
- *lucifugus* Rossi 113, 134
- *sratus* Kolbe 113, 134
- Rhinotermitidae* 109
- Rhizopus* 216, 221
- *aclimar* 213
- *nigricans* 42, 82
- *nodosus* 42
- *oryzae* 42
- *stolonifer* 42, 52
- Rodentia* 159
- Rizoctonia* 62
- Rhodotoruloi sannei* 63
- Ruminantia* 159

- Saccharomyces cerevisiae* 78
- Salm. minnesota* 239
- Scalpellidae* 188
- Scalpellidae* 200
- Sciuridae* 164
- Sclerotinia* 243
- *borealis* 72
- Scolytidae* 89
- Sedentaria* 190
- Semibalanus cariosus* 193
- *balanoides* 193, 197, 200
- Serpula lacrymans* 47, 51, 64, 70, 80, 85
- Sesufosarcina* 34
- Shaeroniidae* 204
- Siderococcus* 37
- Solidobalanus hesperius* 196
- Sphaeroma oregonensis* 204
- Spherotilus* 274
- Spirorbis borealis* 190
- Spirothrix* 37
- Spongia* 190
- Sporocytophaga* 39
- Sporotrichum carnis* 72
- *bombicinum* 82
- Stachybotrys atra* 68, 82, 300
- Staphilococcus aureus* 254
- Stemphylium* 48, 68, 76
- *ilicis* 73
- *macrosporoideum* 82
- *sarciniforme* 73
- Stiliger bellulus* 195
- Steptomyces* 39, 261
- Sturnidae* 146
- Synechocystis* 37

- Termopsiidae* 109
- Tenebrionidae* 88, 89
- Teredinidae* 202, 206
- Teredo* 203
- *navalis* 205, 207
- *utriculus* 205, 206
- Termitidae* 104, 109
- Themiste* 209
- Thiobacillus* 30, 35, 274
- *acidophilus* 35
- *concretivorus* 230
- *denitrificans* 35
- *ferrooxidans* 35, 37, 231
- *thiooxidans* 35, 230
- *thioparus* 35, 230
- Thysanura* 89
- Tinea* 97
- *pellionella* L. 97
- *lapella* Hb. 98
- Tineidae* 88, 90, 97
- Tineinae* 97
- Tineola* 97
- *biselliella* Humm 97
- Tortricidae* 90

Trogoderma 92, 94, 96
Trichoderma 48, 80, 83, 225, 257
— koningi 82, 216
— lignorum 65, 82, 288
— roseum 68, 284
— viride 59, 66, 68, 75, 82, 213
Trichophaga 97
— tapetzella L. 98
Tubularia crocea 194
Tunicata 193
Tuphula 72
— idahoensis 72
— incornata 72
— trifolii 72
— umrina 72

Urnatella gracilis 188

Verticillium 212

— lamellicola 65
— lateritium 82
Vitreella 190

Wallemia sebi 68

Xeromyces bisporus 67, 68
Xylophaga 204, 207
— dorsalis 206
Xylophaginae 204
Xylopholas 204
Xyloreda 204

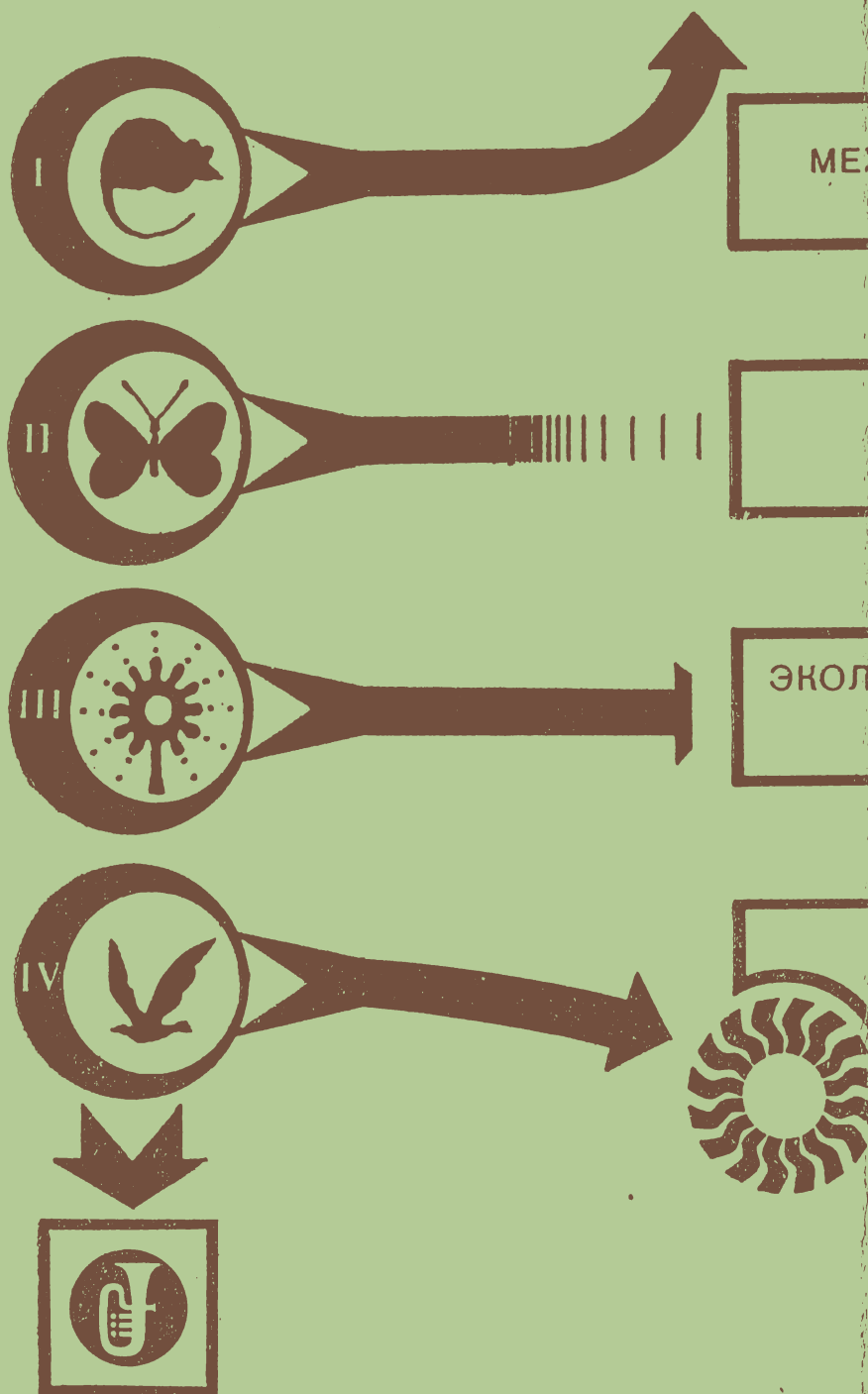
Zachia 204
— lignani 204
— zenkewitchi 204
Zirphaea 209
Zygomycetes 41, 42, 189
Zygorhynchus vuielemini 65

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие (В. Д. Ильичев)	3
Введение (В. Д. Ильичев)	6
Глава 1. Биоповреждения как эколого-технологическая проблема (В. Д. Ильичев)	8
Предмет и понятие биоповреждений	8
Причины возникновения и двойственная природа биоповреждений. Эколого-технологическая концепция	12
Экологические аналоги биоповреждений и их использование в поисках средств защиты	16
Основные закономерности в возникновении и защите от биоповреждений. Принцип мозаичности	19
Эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы в возникновении и развитии биоповреждающего процесса	24
Участники и партнеры	26
Глава 2. Бактерии и грибы — источники биоповреждений	28
Бактерии (А. А. Анисимов)	29
Литотрофные бактерии — возбудители биоповреждений	33
Органотрофные бактерии — возбудители биоповреждений	37
Грибы (И. В. Злочевская)	41
Классификация грибов	41
Особенности строения грибов	48
Способы размножения грибов	55
Грибы и окружающая среда	58
Химические факторы	58
Физические факторы	66
Положение грибов в экосистеме	79
Биологические особенности грибов, вызывающих биоповреждения	84
Глава 3. Насекомые — вредители изделий и материалов (Д. Л. Жужиков, Р. Д. Жангиев)	88
Связи насекомых с материалами	88
Насекомые — кератофаги	91
Насекомые — ксилофаги	101
Биомеханика повреждения материалов насекомыми на примере термитов	119
Стойкость материалов к повреждению насекомыми	129
Особенности защиты материалов, изделий и сооружений от повреждения насекомыми	134
Глава 4. Источники биоповреждений — птицы, млекопитающие (В. Д. Ильичев, Н. П. Наумов, И. А. Емельянова)	139
Птицы. Общая характеристика класса птиц	139
Систематический статус повреждающих групп	144
Повреждаемые птицами объекты	146
Основные направления в защите от биоповреждений, вызываемых птицами	152
Млекопитающие	157
Систематический статус биоповреждающих групп	158
Образ жизни, поведение млекопитающих	165
Размножение, территориальные отношения, численность млекопитающих	169
Повреждение грызунами материалов и сооружений	177
Испытание стойкости материалов к повреждению грызунами	177
Контроль численности грызунов и защита материалов от повреждения грызунами	182

Глава 5. Повреждающие биоценозы в водной среде (Г. Б. Зевина) . .	187
Обрастание	187
Основные обрастатели	189
Отношения организмов внутри сообществ. Механизм обрастания	194
Экология и распределение обрастателей	197
Морские сверлильщики-древоточцы	201
Разрушение каменных сооружений и бетона камнеточцами	207
Глава 6. Биохимические механизмы повреждений, вызываемых микроорганизмами (А. А. Анисимов, В. Ф. Смирнов, А. С. Семичева)	211
Агрессивные метаболиты мицелиальных грибов — ферменты и органические кислоты	211
Ферменты	211
Разрушение ферментами отдельных видов промышленных материалов	217
Органические кислоты	219
Изменение физико-химических, диэлектрических свойств и технологических параметров промышленных материалов под влиянием агрессивных метаболитов мицелиальных грибов	223
Биохимические и химические механизмы бактериальной коррозии металлов	228
Биохимические механизмы действия фунгицидов и бактерицидов	232
Фунгициды и бактерициды как ингибиторы биохимических процессов	239
Характеристика основных групп биоцидов	244
Глава 7. Материалы и изделия, повреждаемые микроорганизмами (Б. В. Бочаров)	252
Пластики	255
Резины	259
Лакокрасочные покрытия	263
Топлива и смазочные материалы	268
Металлы и металлоконструкции	272
Древесина	278
Бумага, книги	283
Текстильные волокна и материалы	284
Натуральная кожа и изделия из кожи	290
Защита от биоповреждений сложных технических изделий	294
Глава 8. Биоциды — средства защиты от биоповреждений (А. А. Крюков, Б. В. Бочаров)	296
Требования и токсикологический контроль применения биоцидов	296
Классификация биоцидов	298
Методы исследования биоцидов	299
Фунгициды	301
Бактерициды	322
Моллюскоциды и другие противообрастающие агенты	328
Инсектициды	331
Авициды	333
Родентициды	335
Заключение. Перспективы защиты от биоповреждений (В. Д. Ильичев) . .	337
Рекомендуемая литература (В. Д. Ильичев)	340
Предметный указатель	342
Указатель латинских названий	345

Основные направления за



защиты от биоповреждений

МЕХАНИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБЪЕКТА



ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ИЗЪЯТИЕ
ЧАСТИ ПОПУЛЯЦИИ



ЛОГИЧЕСКАЯ НЕПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ДИСКОМФОРТ



ОТПУГИВАНИЕ, ОТВЛЕЧЕНИЕ



ПОВРЕЖДАЕМЫЕ
ОБЪЕКТЫ