

Чем пахнет плесень?

Изучая проблему биоповреждения внутренней среды жилых помещений микроскопическими грибами (так называемой плесенью), невозможно не затронуть один из важных аспектов вреда, наносимого плесенью людям, проживающим в поражённых зданиях. Помимо таких очевидных факторов, как биоразрушение элементов отделки и строительных конструкций и возникновение аллергических проявлений от вдыхания спор, есть ещё и третий фактор – выделение плесенью летучих органических веществ, пагубно влияющих на здоровье.

Эти вещества ответственны за характерный «плесневый» запах в поражённых помещениях, хотя сразу надо оговориться, что не все микроскопические грибы пахнут именно так. Некоторые из них совсем не распространяют запаха или пахнут иначе. Однако это не означает, что они не выделяют летучих органических веществ (MVOCs*), потенциально опасных для здоровья человека. Считается, что долговременный контакт человека с MVOCs может приводить к разнообразным симптомам – головным болям, головокружениям, раздражению слизистых оболочек носа, глаз и горла, хронической усталости, тошноте, аллергическим проявлениям. Некоторые исследователи пришли к выводу, что такие симптомы могут проявляться только в случаях, когда концентрации отдельных MVOCs в воздухе составляют от сотен мкг/м³ до нескольких мг/м³ [1]. Тогда как в среднем уровень MVOCs в помещениях без заражённых признаков плесени (но с подозрением на заражённость) составляет порядка 50 мкг/м³ [2]. На степень выраженности симптомов также может влиять длительность и регулярность пребывания в заражённых помещениях. Отмечено, что концентрации MVOCs статистически достоверно выше в домах, где отмечены частые случаи астмы, сенной лихорадки, раздражения слизистых оболочек, однако ни в одном случае нет достоверного подтверждения связи заболеваемости с воздействием летучих веществ.

MVOCs – побочные продукты метаболизма бактерий и грибов, и именно они могут быть обнаружены в помещениях ещё до проявления видимых признаков микробного роста. Таким образом, MVOCs служат ранними индикаторами потенциальных проблем, связанных с биоповреждениями. MVOCs – сложная смесь летучих органических веществ, включая спирты, кетоны, альдегиды, ароматические углеводороды, вещества на основе серы, амины, терпены [3]. Газообразное состояние

* MVOCs (от англ. *microbial volatile organic compounds*), общепринятой русскоязычной аббревиатуры нет.

MVOCs – общепризнанный индикатор плесневого роста, и в настоящее время в мире ведётся интенсивная работа в области совершенствования методик измерения этих веществ. Исследование паттернов летучих органических веществ может выявлять микопоражение зданий на ранних стадиях или в состоянии ремиссии.

MVOCs позволяет им легко распространяться внутри зданий, проникая в том числе через барьеры, такие как виниловые обои, полиэтилен и др. Таким образом, они могут наносить вред даже в тех случаях, когда человек защищён от прямого контакта с грибными частицами (спорами и фрагментами мицелия).

Разнообразие этих веществ можно проиллюстрировать на примере одной из экспериментальных работ, в которой у 12 видов микроскопических грибов, типичных для внутренней среды жилых помещений (*Aspergillus fumigatus*, *A. versicolor*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *Trichoderma harzianum*, *T. pseudokoningii*, *Penicillium brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *P. claviforme*, *P. expansum*, *Fusarium solani*, *Mucor sp.*), обнаружили более 150 летучих веществ [4]. При этом каждый из видов обладал характерным лишь для него «профилем», способным изменяться в ответ на внешние факторы – такие как, например, состав субстрата. Часть выделяемых веществ, тем не менее, оставалась постоянной, что позволило сделать вывод о том, что такие вещества могут служить маркерами для селективного определения видов плесневых грибов во внутренней среде зданий.

MVOCs – общепризнанный индикатор плесневого роста, и в настоящее время в мире ведётся интенсивная работа в области совершенствования методик измерения этих веществ. Исследование паттернов летучих органических веществ может выявлять микопоражение зданий на ранних стадиях или в состоянии ремиссии. При помощи измерения содержания MVOCs в воздухе можно определить надёжность избавления от плесневого поражения, а также выявить скрытые очаги заражения в труднодоступных или малозаметных местах. Однако, несмотря на такие преимущества, метод измерения содержания MVOCs в воздухе закрытых помещений применяется не очень широко в силу своей относительной трудоёмкости, дороговизны и недостаточно полной изученности. Наиболее часто для определения MVOCs



Рис. 1

Формирующиеся колонии темноокрашенных плесневых грибов на тюбиках с косметикой в помещении ванной и на кухне, в сушилке для посуды. Проблемы в квартире появились после установки окон со стеклопакетами.

в воздухе применяют газовую хроматографию и масс-спектрометрию, а также жидкостную хроматографию высокого разрешения (HPLC). Разрабатываются и новые, более простые в применении и быстрые методы – в частности, основанные на биолюминесцентных сенсорах.

Ниже приведен список 14 веществ, используемых в качестве индикаторов микробного заражения:

- 1-октен-3-ол;
- геосмин;
- 3-метилфуран;
- 3-метил-2-бутанол;
- 2-пентанол;
- 2-гексанол;
- 3-октанол;
- 2-октен-1-ол;
- 2-метил-изоборнеол;
- 2-изопропил-3-метоксипиразин;
- 3-метил-1-бутанол;
- 2-гептанол;
- 3-октанол;
- 2-метил-2-бутанол.

Такие вещества, как 1-октен-3-ол, 3-метил-1-бутанол, 2-гексанол и 2-гептанол продуцируются преимущественно грибами, остальные могут быть результатом жизнедеятельности не только грибов, но также бактерий и микроводорослей. 3-метилфуран в литературе часто трактуют как показатель присутствия активно растущих грибов, 1-октен-3-ол – как показатель неактивного присутствия грибов, геосмин – как показатель присутствия грибов в активном и неактивном состоянии.

Некоторые MVOCs легко распознает любой, кто сталкивался в своей жизни с плесенью. Возможно, самое характерное вещество из всех – это геосмин, вещество сесквитерпеновой природы, обладающее специфическим «земляным» запахом. Предел распознавания геосмина ольфакторной системой человека – 150–200 нг/м³. Примерно таким же запахом обладают 2-метил-изоборнеол, диметилсульфид, диметилдисульфид, диметилсульфоксид, 2-гептанол. В числе других легко распознаваемых по запаху MVOCs – 1-октен-3-ол («грибной» запах в концентрации 10 мкг/м³) и 2-октен-1-ол («за-

тхлый» запах при 16 мкг/м³). Появление запаха может стать сигналом развития плесени задолго до появления видимых очагов поражения. В целом, уровни MVOCs в жилых помещениях, как правило, на порядки величины ниже, чем уровни содержания летучей органики различного (в основном техногенного) происхождения в промышленных зонах. В зданиях, не имеющих проблем биоповреждения, фоновые концентрации MVOCs варьируют в пределах 1–5 мкг/м³. Примерно такие же концентрации, по некоторым данным, обнаруживаются и в наружном воздухе, где уровни MVOCs варьируют в пределах 1,1–9,5 мкг/м³, составляя в среднем 4,5 мкг/м³. Существенно более высокие уровни содержания этих веществ сигнализируют об активном росте микроорганизмов. Так, измерение уровней MVOCs в помещениях здания, где имели место очаги видимого роста плесени, показало, что содержание летучих органических веществ микробного происхождения там почти вдвое выше, чем в наружном воздухе [5].

Очаги развития плесени могут обнаруживаться не только на стенах и потолках, но даже на мебели, посуде, средствах личной гигиены, игрушках и пр. Очевидно, что в таких квартирах уровни содержания спор грибов и летучих органических веществ в воздухе значительно выше норм.

Интернет-форумы заполнены жалобами и «криками» о помощи от жильцов поражённых плесенью квартир, которые, несмотря на применение различных антисептических средств, не могут до конца или хотя бы надолго избавиться от плесени. Масштабы поражения некоторых жилищ потрясают воображение. Так, очаги развития плесени могут обнаруживаться не только на стенах и потолках, но даже на мебели, посуде, средствах личной гигиены, игрушках и пр. (рис. 1). Очевидно,



Рис. 2

Масштабное поражение плесневыми грибами оконных блоков на застеклённых балконах в новом, частично заселённом здании. Виден рост колоний темноокрашенных грибов на поверхности стёкол в каплях конденсата.

что в таких квартирах уровни содержания спор грибов и летучих органических веществ в воздухе значительно выше норм.

Как свидетельствуют те же форумы, большинство людей понимает, что причина плесени в доме – излишняя влажность и плохая вентиляция, часто являющиеся следствием установки окон со стеклопакетами, излишне герметизирующими помещение и приводящими к образованию конденсата на стёклах или оконных откосах. Однако провести своими силами инженерно-техническое оздоровление жилища люди, как правило, не в состоянии. Ситуация усугубляется ещё и тем, что «перегерметизированным» часто оказывается большое количество квартир в доме (в старых домах установлены стеклопакеты более чем в 50 % квартир, в новостройках – практически в 100 %). В такой ситуации самостоятельно улучшить циркуляцию воздуха и влажностный режим в отдельно взятой квартире практически невозможно, особенно учитывая системный характер нарушения работы вентиляции в старых зданиях.

В целом, жильё – составной, сложный продукт, уровень качества которого не определяется простым суммированием хороших составляющих. Важнее другое – сочетаемость элементов и их правильное функционирование в ансамбле. Отдельная проблема – строительство новых домов с нарушением технологий или по непродуманным проектам. Переувлажнение, повышенная температура и влажность в «загерметизированных» квартирах в сочетании с холодными внешними стенами – причина образования конденсата и развития плесени на стенах даже в новом жилье.

В недавно обследованном микологами новом жилом 16-этажном доме достаточно высокого класса (около 200 квартир), оборудованном панорамными застеклёнными балконами, не было почти ни одного балкона, где бы не образовывался обильнейший конденсат, ставший причиной массового развития плесени (причём не только на стенах или откосах, но и по всей площади стёкол (рис. 2)). Особенно сильная степень поражения было отмечена в ещё не заселённых квартирах, где некому было регулярно протирать окна и проветривать. В целом, масштабы плесневого поражения дома были таковы, что в отдельных квартирах уничтожали и полностью заменяли часть внутренних стен (!).

В ходе работы по экспертному обследованию этого дома нам пришлось столкнуться с характерным случаем бытового восприятия проблемы биоповреждения. Обнаруженное нами в нескольких квартирах масштабное плесневое поражение стёкол на балконах грибами рода *Cladosporium* (рис. 2) управляющий домом упорно отказывался признавать плесенью, несмотря на мнение экспертов. Аргументом было отсутствие характерного плесневого запаха (не присущего грибам этого рода). Как уже говорилось выше, не все грибные MVOCs пахнут именно «плесенью», и отсутствие запаха – не повод закрывать глаза на микоповреждение.

Отдельная проблема – строительство новых домов с нарушением технологий или по непродуманным проектам. Переувлажнение, повышенная температура и влажность в «загерметизированных» квартирах в сочетании с холодными внешними стенами – причина образования конденсата и развития плесени на стенах даже в новом жилье.

Обследование дома дало интересный результат – незаселённые квартиры в более высокой степени подвержены воздействию биоповреждающих факторов. При обработке полученных данных было выявлено, что заселение квартир существенно улучшает их микологическое состояние: в частности, снижается уровень содержания спор грибов в воздухе (в среднем по дому со 120 до 70 КОЕ/м³). Жильцы следят за состоянием окон, выявляют и устраняют недоделки строителей, проводят уборку и проветривание. Однако параллельно с этим за счёт хозяйственной и бытовой деятельности людей в ряде случаев могут формироваться новые очаги развития плесневого поражения.

Изменяется и видовой состав микроскопических грибов: в нежилых квартирах больше заносных почвенных видов с улицы, а по мере заселения формируется специфическая микобиота внутренней среды жилых зданий (с доминированием более опасных для здоровья видов – представителей родов *Aspergillus*,

Candida, Penicillium, Mucor, выделяющих в воздушную среду большое количество MVOCs). Это подтверждает представление о том, что микоповреждение – комплекс сложных многофакторных процессов.

Совместно с коллегами из лаборатории Общей биологии Биолого-почвенного ф-та СПбГУ нами недавно был разработан оригинальный программный продукт, позволяющий проводить долгосрочное прогнозирование микологического статуса закрытых помещений на основе метода анализа главных компонент с учётом широкого круга микроклиматических и инженерно-технических факторов (среди них кондиционирование, этажность, ремонты/реконструкции, возраст здания,

посещаемость, метраж, центральное отопление, антисептические обработки, микологические показатели – число КОЕ, очаги поражения и т. д.). Программа позволяет включать в обработку дополнительные факторы, например, можно учитывать уровень MVOCs в воздухе, если имеется возможность его измерения. Разработка успешно прошла апробацию на примере помещений Российского этнографического музея [6, 7]. Метод позволяет выявлять наиболее значимые в каждом конкретном случае факторы, изменение которых способно кардинально улучшить ситуацию и избавиться от «плесневых» проблем (текущих и потенциальных) наиболее эффективным способом.

Литература

1. Pasanen A., Korpi A., Kasanen J.P., Pasanen P. Can microbial volatile metabolites cause irritation at indoor air concentrations? // *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. Edited by Johanning E., Boyd Printing, Albany, New York. 2001.
2. Black M.S., Worthan T. and Morey P. Microbial VOCs as indicators for mold growth in buildings. AIHCE. 1998.
3. Foruk M.J., Uhlman S., Baker D.B., Yang H. Analysis of microbial contamination of a ventilation system detected by measurement of microbial volatile organic compounds // *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. Edited by Johanning, E., Boyd Printing, Albany, New York. 2001.
4. Filer K., Schutz E. and Geh S. Detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by moulds on various materials // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2001. 204 (2–3). P. 111–121.
5. Carlson N., Quraishi A. Anatomy of a Fungal Problem // *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. Edited by Johanning, E., Boyd Printing, Albany, New York. 2001.
6. Абрамов Е.Г., Богомолова Е.В., Панина Л.К. Подходы к оценке микологической безопасности помещений музеев, архивов, библиотек на основе методов анализа многомерных данных // Сборник «Современная микология в России». М.: Изд-во Национ. акад. микологии, 2008. № 2. С. 364.
7. Абрамов Е.Г., Богомолова Е.В., Панина Л.К., Хромова-Борисова Д.Н. Оценка микологического риска в помещениях музеев, архивов и библиотек методом главных компонент // *Проблемы медицинской микологии*. 2008. № 10 (2). С. 24. ■