

Халдеева Е.В.¹, Глушко Н.И.¹, Лисовская С.А.^{1,2}

Оценка обсеменённости плесневыми грибами установок для кондиционирования воздуха и воздушной среды помещений

¹ФБУН Казанский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора, 420015, Казань, Россия;²ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, 420012, Казань, Россия

Введение. Качество воздушной среды помещений является важной составляющей здоровой среды обитания человека. Использование установок для кондиционирования воздуха может влиять на качество воздушной среды помещений, в том числе способствуя микогенной контаминации воздуха при отсутствии надлежащего контроля состояния кондиционеров.

Материалы и метод. В работе представлены результаты микологического исследования проб воздуха и смывов с поверхности фильтров и решёток устройств для кондиционирования воздуха, отобранных из 40 жилых и офисных помещений.

Результаты. Присутствие грибов-микромикетов отмечено в 100% проб, отобранных с поверхности фильтров и решёток кондиционеров, и в 81,6% проб воздуха. В пробах воздуха выявлено большее видовое разнообразие грибов (26 видов) по сравнению с кондиционирующими устройствами (15 видов). Показана более высокая частота встречаемости тёмноокрашенных видов грибов, в том числе *Aspergillus spp.* и *Alternaria spp.*, и видов грибов, относящихся к третьей группе патогенности, на поверхности кондиционеров по сравнению с пробами воздуха, в которых чаще выявляли *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, *Trichoderma spp.* Установлено, что на поверхности кондиционеров, функционирующих эпизодически и кратковременно (28 помещений), обнаруживается большое видовое разнообразие микобиоты при низком или умеренном уровне обсеменённости (не более 10³ КОЕ). В помещениях с длительным непрерывным режимом работы кондиционеров (12 помещений) чаще отмечали высокий уровень обсеменённости (более 10⁴ КОЕ) 1–2 видами грибов. Установлено существование тесной связи, подтверждённое значениями коэффициента контингенции Пирсона, между видовым составом микобиоты кондиционирующих устройств и воздуха, а также более высокий уровень микогенной контаминации в помещениях с длительным непрерывным режимом работы кондиционеров.

Заключение. Устройства для кондиционирования могут являться источником микогенной контаминации воздуха, особенно при длительном непрерывном режиме эксплуатации, что необходимо учитывать для обеспечения качества воздушной среды помещений.

Ключевые слова: микогенная контаминация; микобиота; грибы-микромикеты; аллергенные грибы; воздух закрытых помещений; кондиционер

Для цитирования: Халдеева Е.В., Глушко Н.И., Лисовская С.А. Оценка обсеменённости плесневыми грибами установок для кондиционирования воздуха и воздушной среды помещений. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (7): 668–673. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-668-673>

Для корреспонденции: Халдеева Елена Владимировна, канд. хим. наук, зав. лаб. микологии Казанского НИИ эпидемиологии и микробиологии, 420015, Казань. E-mail: mycology-kazan@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания в соответствии с Отраслевой научно-исследовательской программой Роспотребнадзора «Проблемно-ориентированные научные исследования в области эпидемиологического надзора за инфекционными и паразитарными болезнями» (на 2016–2020 гг.) п. 2.4.8.

Участие авторов: Халдеева Е.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Глушко Н.И. – сбор литературных данных, сбор и обработка материала; Лисовская С.А. – редактирование, сбор и обработка материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 30.10.2020 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 31.07.2021

Elena V. Khaldeeva¹, Nadejda I. Glushko¹, Svetlana A. Lisovskaya^{1,2}

Assessment of mold infestation of conditioning devices and indoor air

¹Kazan Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Kazan, 420015, Russian Federation;²Kazan State Medical University, Kazan, 420012, Russian Federation

Introduction. Indoor air quality is an essential component of a healthy human environment. Air conditioning units can affect indoor air quality, including mycogenic contamination of the air if the condition is not adequately monitored.

Material and method. The paper presents the results of a mycological study of air samples and flushes from the surface of filters and gratings of air conditioning devices taken from 40 residential and office premises.

Results. The presence of micromycetes fungi was noted in 100% of the samples taken from the surface of filters and air conditioning grids and 81.6% of air samples. A greater species diversity of fungi (26 species) was revealed in air samples compared to air conditioning devices (15 species). A higher frequency of occurrence of dark-coloured species of fungi, incl. *Aspergillus spp.* and *Alternaria spp.*, and fungal species belonging to the third group of pathogenicity, were noticed on the surface of air conditioners, compared with air samples, in which *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, *Trichoderma spp.* were more often detected.

It was found that the surface of air conditioners functioned sporadically. For a short time (28 rooms), there is a large species diversity of mycobiota at a low or moderate level of seeding (no more than 10³ CFU). In rooms with long-term continuous air conditioners (12 rooms), a high level of seeding (more than 10⁴ CFU) by 1–2 species of fungi was more often noted. The existence of a close relationship, confirmed by the values of the Pearson contingency coefficient, between the species composition of the mycobiota of air conditioning devices and air, and a higher level of mycogenic contamination in rooms with long-term continuous operation of air conditioners, were shown.

Conclusion. Thus, air conditioning devices can be a source of mycogenic air contamination, especially during long-term continuous operation, which must be taken into account to ensure indoor air quality.

Keywords: mycogenic contamination; mycobiota; micromycetes; allergenic fungi; indoor air; air conditioning

For citation: Khaldeeva E.V., Glushko N.I., Lisovskaya S.A. Assessment of mold infestation of conditioning devices and indoor air. Assessment of mold contamination in air conditioning and indoor air. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (7): 668–673. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-668-673> (In Russ.)

For correspondence: Elena V. Khaldeeva, MD, PhD, head of the laboratory of mycology of Kazan Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Kazan, 420015, Russian Federation. E-mail: mycology-kazan@yandex.ru

Information about authors:

Khaldeeva E.V., <https://orcid.org/0000-0002-4627-2162>; Glushko N.I., <https://orcid.org/0000-0001-7978-4802>; Lisovskaya S.A., <http://orcid.org/0000-0002-4377-2567>

Contribution: Khaldeeva E.V. – the concept and design of the study; collection and processing of material, writing a text; Glushko N.I. – collection of literature data, collection and processing of material; Lisovskaya S.A. – editing, collection and processing of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The work was carried out within the framework of the State Assignment in accordance with the Branch Research Program of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being (Rosпотребнадзор) “Problem-oriented scientific research in the field of epidemiological surveillance of infectious and parasitic diseases” (for 2016–2020) p. 2.4.8.

Received: October 10, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: July 31, 2021

Введение

Микроскопические грибы, присутствующие в воздухе окружающей среды, могут негативно воздействовать на здоровье человека, способствуя возникновению и развитию респираторных аллергозов, астмы, микотоксикозов, инвазивных микозов [1, 2]. Микогенная контаминация воздуха считается одним из главных факторов возникновения «синдрома больного здания» [3], а также, согласно данным ВОЗ, наряду с сыростью расценивается как серьёзный фактор риска для здоровья в странах как с низким, так и со средним и высоким уровнем доходов [1]. Особую остроту эта проблема приобретает в городских условиях, где вследствие влияния антропогенных факторов микогенная контаминация как окружающей среды, так и закрытых помещений приобретает угрожающий характер [4, 5].

Жители современных городов значительную часть своего времени проводят в закрытых помещениях, в связи с этим особую значимость приобретает качество воздушной среды этих помещений [5]. В последние годы широкое распространение получило использование систем и устройств кондиционирования воздуха, направленное на поддержание в закрытых помещениях определённых параметров микроклимата с целью обеспечения оптимальных климатических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей. Использование таких устройств в бытовой сфере наряду с преимуществами имеет некоторые недостатки. К ним относится необходимость регулярного обслуживания и очистки, которыми владельцы жилых помещений или небольших офисов часто пренебрегают. Следствием этого нередко является загрязнение кондиционеров плесневыми грибами, что может привести к ухудшению качества воздуха. В то же время на качество воздушной среды оказывают влияние и другие факторы, среди которых – скорость воздухообмена, приток атмосферного воздуха, уровень запылённости, наличие в помещении очагов грибковой биодеструкции или источника спор грибов (например, растительных субстратов), присутствие домашних животных и т. д.

Цель настоящей работы – исследование обсеменённости плесневыми грибами внутренних блоков систем кондиционирования и состава микобиоты воздушной среды помещений.

Материалы и методы

Проведено исследование смывов с поверхности фильтров и решёток внутренних блоков 40 кондиционеров, установленных в жилых и офисных помещениях без централизованной системы кондиционирования воздуха. Отбор проб проводили влажным тампоном в пробирку со стерильной дистиллированной водой. Посев проводили на среду Сабуро с добавлением антибиотика. Культивировали при 28 ± 2 °C в течение 7–16 сут. Идентификацию проводили классическими методами по культурально-морфологическим признакам [6–8].

В помещениях с установленными кондиционерами с помощью пробоотборника ПУ-1Б проводили отбор не менее 3 проб воздуха (объём проб 100 и 250 л) (всего 120 проб).

Отбор проб проводили при закрытых окнах, не ранее чем через 1 ч после выключения кондиционера. Пробы отбирали в весенне-летний период, основная часть проб была отобрана в период с мая по июль. Температура воздуха в помещениях при выключенном кондиционере варьировалась от +19 до +32 °C, относительная влажность воздуха – от 33 до 62%.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы «Excel», рассчитывали коэффициенты ассоциации ($K_{\text{ар}}$) Юла и контингенции ($K_{\text{кп}}$) Пирсона по методу «четырёх полей» [9].

Результаты

В результате проведённых исследований установлено присутствие грибов-микроспоров в 100% проб, отобранных с поверхности фильтров и решёток кондиционеров, и в 81,6% проб воздуха. В то же время, учитывая кратность отбора проб воздуха, присутствие грибов отмечено в воздухе 38 жилых помещений (95%).

Анализ состава микобиоты показал, что в пробах воздуха отмечается большее видовое многообразие грибов (26 видов), чем в кондиционерах (15 видов) (рис. 1). При этом на поверхности фильтров и решёток кондиционеров значительно чаще выявляли тёмноокрашенные виды грибов, в частности различные виды *Aspergillus* и *Alternaria*, а в воздухе – представителей родов *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*. Состав микобиоты воздуха в значительной степени коррелирует со структурой микроспоров почв городской среды г. Казани [10]. Проведённые исследования не выявили заметных различий в составе микобиоты воздуха и кондиционеров жилых и офисных помещений.

Анализ количественных данных о содержании грибов в воздухе показал, что для большинства обследованных помещений характерен умеренный уровень обсеменённости, не превышающий 300 КОЕ/м³ (рис. 2), что свидетельствует о надлежащем качестве содержания этих помещений. В то же время было отмечено, что в трёх помещениях концентрация грибов в воздухе превышала условную норму в 500 КОЕ/м³ [1].

В ходе исследования проб, отобранных с поверхности фильтров и решёток кондиционеров, отмечены два типа обсеменённости, характерные для помещений с различным микроклиматом и режимом функционирования кондиционеров. Так, в жилых и офисных помещениях, где отмечались заметные суточные колебания температур, обусловленные инсоляцией, а кондиционеры функционировали эпизодически (28 помещений), отмечали большое разнообразие микобиоты и низкий или умеренный уровень обсеменённости (не более 10³ КОЕ). В помещениях, где колебание температур было менее выражено, а кондиционеры функционировали непрерывно в течение длительного периода времени (12 помещений), чаще отмечали высокий уровень обсеменённости (более 10⁴ КОЕ) 1–2 видами грибов (табл. 1).

Сопоставление полученных результатов показало, что виды, выявленные на поверхности кондиционеров, присутствуют в воздухе 86% помещений. При этом в пробах

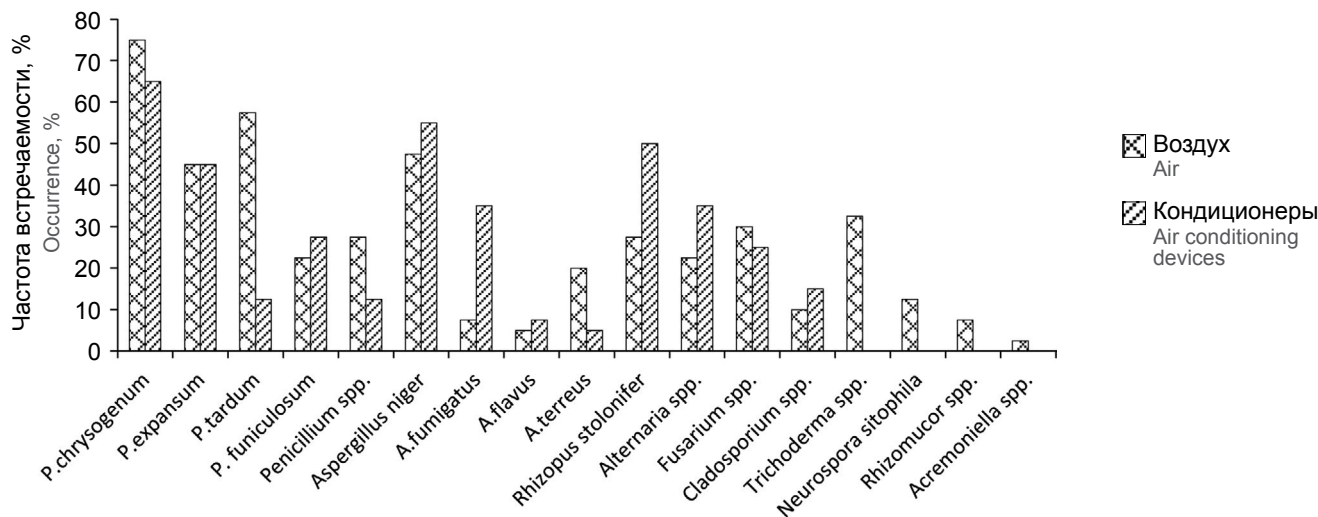


Рис. 1. Микобиота кондиционирующих устройств и воздушной среды помещений.

Fig. 1. Mycobiota of air conditioning devices and indoor air.

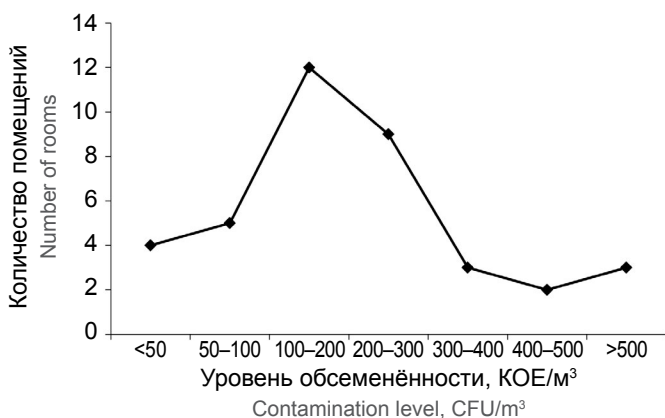


Рис. 2. Количественные характеристики обсеменённости грибами воздушной среды помещений.

Fig. 2. Quantitative characteristics of fungi contamination of the indoor air. Уровень обсеменённости Contamination level, CFU/m³.

воздуха помещений с длительным непрерывным режимом работы кондиционеров количество грибов достоверно выше (табл. 2), о чём свидетельствуют результаты теста по критерию достоверности Стьюдента ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$).

В помещениях с длительным непрерывным режимом работы кондиционеров виды грибов, выявленные на кондиционерах, присутствовали во всех пробах воздуха, отобранных в соответствующем помещении, а значения коэффициента ассоциации Юла ($K_{\text{АЮ}}$) составляли 1. В тех случаях, когда значение коэффициента ассоциации было равно 1, при условии отсутствия хотя бы одной частоты в таблице «четырёх полей», более целесообразным оказался расчёт коэффициента контингенции Пирсона ($K_{\text{КП}}$). Величина коэффициента контингенции Пирсона, рассчитанного для оценки частоты выявления различных видов грибов в пробах воздуха и на кондиционерах, варьировалась от 0,67 до 1, что указывает на наличие тесной связи между присутствием грибов в воздухе и на кондиционирующих устройствах.

Для помещений с эпизодическим режимом работы кондиционирующих устройств не наблюдалось прямой корреляции между качественными и количественными пара-

Таблица 1 / Table 1

Особенности микобиоты воздуха и устройств для кондиционирования воздуха

Features of mycobiota in air and conditioning devices

Показатель Indices	Воздух Air	Кондиционеры / Air conditioning devices	
		Помещения 1-го типа Premises type 1 n = 28	Помещения 2-го типа Premises type 2 n = 12
Доминирующие виды Dominant species	<i>Penicillium</i> spp. (<i>P. chrysogenum</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. tardum</i> , <i>P. funiculosum</i>) <i>Aspergillus</i> spp. (<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. flavus</i>) <i>Trichoderma</i> spp. (<i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T. asperellum</i>) <i>Fusarium</i> spp. (<i>F. oxysporum</i> , <i>F. verticillioides</i>) <i>Alternaria</i> spp. <i>Rhizomucor</i> spp. <i>Cladosporium</i> spp. <i>Acremoniella</i> spp. <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Neurospora sitophila</i>	<i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Aspergillus</i> spp. (<i>A. niger</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. terreus</i>) <i>Penicillium</i> spp. (<i>P. chrysogenum</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. funiculosum</i> , <i>P. tardum</i>) <i>Alternaria</i> spp. (<i>A. alternata</i> , <i>A. tenuissima</i>) <i>Fusarium oxysporum</i> <i>F. verticillioides</i> <i>Cladosporium</i> spp. (<i>C. herbarum</i> , <i>C. cladosporioides</i>)	<i>Aspergillus</i> spp. (<i>A. niger</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. terreus</i>) <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Alternaria alternata</i> <i>Cladosporium</i> spp. (<i>C. herbarum</i> , <i>C. cladosporioides</i>)
Численность / Quantitative values	0–800 КОЕ/м ³ (CFU/m ³)	10 ¹ –10 ³ КОЕ/дм ² (CFU/dm ²)	10 ⁴ –10 ⁶ КОЕ/дм ² (CFU/dm ²)
Количество видов / Species number	26	15	9

Таблица 2 / Table 2

Количественные показатели микобиоты воздуха помещений с различными режимами работы кондиционеров

Quantitative indices of the indoor air mycobiota with different operating modes of air conditioning devices

Тип помещения Premises type	Количество проб Samples number	Среднее количество грибов в воздухе, КОЕ/м ³ Average number of fungi in the air, CFU/m ³	Стандартная ошибка (S _c) Standard error (S _c)	Расчётная величина <i>t</i> -критерия (<i>p</i> = 0.95)* Calculated value of <i>t</i> -test (<i>p</i> = 0.95)*
Помещения 1-го типа, <i>n</i> = 28 Premises of type 1, <i>n</i> = 28	84	164.3	14.6	3.18
Помещения 2-го типа, <i>n</i> = 12 Premises of type 2, <i>n</i> = 12	36	292.8	37.7	3.18

Примечание. * – $t_{\text{табл}} (p = 0,95, f = 118) = 1,984$.

Note. * – $t_{\text{table}} (p = 0,95, f = 118) = 1.984$.

метрами микобиоты кондиционеров и воздуха. Значения коэффициента ассоциации Юла варьировались от 0 до 1 в зависимости от вида грибов.

Значения коэффициента контигенции Пирсона, превышающие 0,3, получены только для видов грибов, относящихся к 3-й группе патогенности*. Для этих видов значение $K_{\text{кл}}$ варьировалось от 0,38 до 0,69, что указывает на наличие связи между качественными признаками (присутствием грибов в воздухе и на кондиционирующих устройствах), хотя и выраженной слабее, чем при длительном непрерывном режиме работы кондиционирующих устройств.

Анализ структуры выявленной микобиоты показал, что в пробах, отобранных с фильтров и решёток кондиционеров, частота встречаемости видов, относящихся к 3-й группе патогенности (*Aspergillus fumigatus*, *A. flavus* и *A. terreus*), составляет 42,5%, в то время как в пробах воздуха – 25%. Среди видов грибов с выраженными аллергенными свойствами на фильтрах и решётках кондиционеров чаще присутствовали *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium* spp., а в пробах воздуха – *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium tardum*, *Aspergillus niger*, *Fusarium* spp.

Обсуждение

Полученные результаты исследования состава микобиоты воздуха в значительной степени коррелируют с данными европейских исследователей с учётом различия климатических особенностей [11–16]. В большинстве работ отмечается, что наибольший вклад в формирование микогенной контаминации воздушной среды помещений вносят *Penicillium* spp. и *Aspergillus* spp. при достаточно высокой распространённости *Alternaria* spp., *Trichoderma* spp. и *Cladosporium* spp. Видовой состав микобиоты воздуха помещений в различных климатических зонах варьируется в зависимости от сезона, но при этом отмечается, что концентрация *Penicillium* spp. и *Aspergillus* spp. в воздухе помещений не зависит от их содержания в воздухе окружающей среды в отличие от *Cladosporium* spp. и *Alternaria* spp. [11]. До настоящего времени изучения такой зависимости для нашей климатической зоны не проводилось, что может стать перспективным продолжением представленной работы наряду с сопоставлением состава микобиоты заборных и выводных воздухопроводов кондиционирующих устройств, позволяющим лучше оценить влияние температуры и влажности на особенности экологической сукцессии микроорганизмов.

Сравнение полученных количественных показателей микобиоты и результатов, приведённых в обзорных рабо-

тах, посвящённых изучению микогенной контаминации воздуха [5, 11, 17, 18], подтвердило более низкие средние значения концентрации грибов в воздухе обследованных нами помещений, что, вероятно, связано с их общим благополучным состоянием, отсутствием в них повышенной влажности и очагов биоповреждения.

Возможный вклад систем для кондиционирования воздуха в формирование биоагрузки, в том числе – микогенной, в последние годы привлекает внимание исследователей [13, 19–26]. В работах проводится анализ пыли [20, 26–28], смывов с вентиляционных решёток [13], резервуаров для воды [15] либо собственно фильтров кондиционеров [12, 21, 22], в том числе – автомобильных [21, 22]. Авторы исследования [21], проведённого на вилочном погрузчике производства по переработке отходов, подтвердили возможность грибкового загрязнения внутри кондиционера при неправильном обслуживании вентиляционных фильтров, а также оценили концентрацию микотоксинов и цитотоксичность. Было показано [21], что выявленные на поверхности фильтров кондиционеров виды грибов являются продуцентами микотоксинов [29]. Этот факт подтверждает возможность попадания микотоксинов в воздух при работе кондиционера, что может создать дополнительную угрозу для здоровья людей, особенно при длительной экспозиции, что придаёт особое значение изучению токсигенных свойств выявляемых видов грибов.

В работе [15] при параллельном изучении микобиоты воздуха и резервуаров для воды кондиционеров использовали сочетание классических микробиологических методов с ПЦР в реальном времени (real-time PCR) и массивным параллельным секвенированием (massive parallel sequencing). Авторами показано распространение в воздухе вида *Exophiala jeikei*, для которого обычно характерен рост во влажных средах, таких как системы кондиционирования воздуха. Присутствие этого вида в резервуарах для воды кондиционеров также было подтверждено наряду с *Alternaria alternata*, *Aspergillus* spp. (*A. fumigatus*, *A. puulaauensis*, *A. versicolor*) и *P. chrysogenum*.

Результаты изучения микобиоты кондиционеров, представленные в работе [27], подтвердили доминирующие позиции *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp. и *Alternaria* spp. с частотой встречаемости 75%, а Ли и соавт. (Li A. et al.) [30] выявили представителей видов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Mucor* и *Trichoderma* с долями 30,1; 17,2; 41,8; 5,6; 2,8; 0,5% соответственно. Эти данные согласуются с полученными нами результатами, при этом можно отметить, что особенности климатической зоны меньше влияют на видовой состав микобиоты кондиционирующих систем, чем на микобиоту воздуха, что, вероятно, связано со специфическими условиями внутри кондиционеров, ограничивающими рост многих видов грибов.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую вероятность микогенной контаминации устройств

* Санитарно-эпидемиологические правила СП 1.3.2322-08 «Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных болезней» с изменениями и дополнениями от 2 июня 2009 г., 29 июня 2011 г.

для кондиционирования воздуха, в составе микобиоты которых следует отметить присутствие тёмноокрашенных гидрофильных видов. Рассеивание пропагул этих видов в воздухе вследствие функционирования системы кондиционирования, особенно при длительном непрерывном режиме работы, может приводить к повышению уровня микогенной контаминации воздуха. В то же время микогенная контаминация систем кондиционирования является лишь одним из факторов, влияющим на качество воздуха в помещении. Однако значимость этого фактора может существенно возрастать за счёт того, что воздействие носит систематический характер и может усугубляться с течением времени в связи с риском распространения в воздухе не только пропагул, но и таких метаболитов грибов, как микотоксины и β-1,3-D-глюкан.

Заключение

Качество воздушной среды помещений является важной составляющей здоровой среды обитания человека. Одним из способов обеспечения надлежащего состояния воздуха помещений является контроль и своевременное устранение неблагоприятных для здоровья факторов, в том числе поддержание безопасного уровня микогенной контаминации воздуха. Проведённые исследования показали, что устройства для кондиционирования могут являться источником микогенной контаминации воздуха, особенно при длительном непрерывном режиме эксплуатации. Это подтверждает необходимость регулярного обслуживания и контроля, в том числе микробиологического, систем для кондиционирования воздуха и вентиляции как важного элемента обеспечения качества воздушной среды.

Литература

(п.п. 2, 3, 11–15, 17–30 см. References)

1. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха в помещениях: сырость и плесень. Копенгаген; 2009. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/246321/E92645r.pdf
4. Марфенина О.Е., Фомичева Г.М. Потенциальные патогенные мицелиальные грибы в среде обитания человека. Современные тенденции. В кн.: Дьяков Ю.Т., Сергеев Ю.В., ред. *Микология сегодня. Том 1*. М.; 2007: 235–66.
5. Губернский Ю.Д., Беляева Н.Н., Калинина Н.В., Мельникова А.И., Чуприна О.В. К вопросу распространения и проблемы гигиенического нормирования грибкового загрязнения воздушной среды жилых и общественных зданий. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(5): 98–104.
6. Лугаускас А.Ю., Микольскене А.И., Шляужене Д.Ю. *Каталог микроорганизмов – биодеструкторов полимерных материалов*. М.: Наука; 1987.
7. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. *Определитель патогенных и условно патогенных грибов*. Пер. с англ. М.: Мир; 2001.
8. Кулько А.Б. *Атлас условно-патогенных грибов Aspergillus – возбудителей бронхолегочных инфекций*. М.; 2012.
9. Харченко М.А. *Корреляционный анализ*. Воронеж; 2008.
10. Халдеева Е.В., Баязитова А.А., Лисовская С.А., Глушко Н.И., Паршakov В.Р. Микобиота почв городских территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(6): 505–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-505-508>
16. Лыков И.Н., Кусачева С.А. Аэроэкология воздуха внутри помещений со split-системами. *Экология урбанизированных территорий*. 2020; (2): 77–80. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-12077>
1. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen; 2009. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf
2. Moelling K., Broecker F. Air microbiome and pollution: composition and potential effects on human health, including SARS coronavirus infection. *J. Environ. Public Health*. 2020; 2020: 1646943. <https://doi.org/10.1155/2020/1646943>
3. Straus D.C. Molds, mycotoxins, and sick building syndrome. *Toxicol. Ind. Health*. 2009; 25(9–10): 617–35. <https://doi.org/10.1177/0748233709348287>
4. Марфенина О.Е., Фомичева Г.М. Потенциально патогенные filamentous fungi in the human environment. Modern tendencies. In: D'yakov Yu.T., Sergeev Yu.V., ed. *Mycology today. Volume 1 [Mikologiya segodnya. Tom 1]*. Moscow; 2007: 235–66. (in Russian)
5. Gubernskiy Yu.D., Belyaeva N.N., Kalinina N.V., Mel'nikova A.I., Chuprina O.V. On the question of occurrence and the problem of hygiene rating of fungal air pollution of the environment of residential and public buildings. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(5): 98–104. (in Russian)
6. Lugauskas A.Yu., Mikul'skene A.I., Shlyauzhene D.Yu. *Catalog of Micromycetes – Biodegradants of Polymeric Materials [Katalog mikromycetov – bio-destruktorov polimernykh materialov]*. Moscow: Nauka; 1987. (in Russian)
7. Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M.G. *Guide to Clinically Significant Fungi*. Williams & Wilkins; 1998.
8. Kul'ko A.B. *Atlas of Opportunistic Aspergillus Fungi – Causative Agents of Bronchopulmonary Infections [Atlas uslovno-patogennykh gribov Aspergillus – vzbuditeley bronkholegочnykh infektsiy]*. Moscow; 2012. (in Russian)
9. Kharchenko M.A. *Correlation Analysis [Korrelatsionnyy analiz]*. Voronezh; 2008. (in Russian)
10. Khaldeeva E.V., Bayazitova A.A., Lisovskaya S.A., Glushko N.I., Parshakov V.R. Mycobiota of soils of urban territories with different levels of anthropogenic load. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(6): 505–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-505-508>
11. Crawford J.A., Rosenbaum P.F., Anagnost S.E., Hunt A., Abraham J.L. Indicators of airborne fungal concentrations in urban homes: understanding the conditions that affect indoor fungal exposures. *Sci. Total Environ*. 2015; 517: 113–24. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.060>
12. Voranan-Winqvist C., Järvi K., Andersson M.A., Duchaine C., Létourneau V., Kedves O., et al. Exposure to indoor air contaminants in school buildings with and without reported indoor air quality problems. *Environ. Int*. 2020; 141: 105781. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105781>
13. Viegas C., Twarużek M., Lourenço R., Dias M., Almeida B., Caetano L.A., et al. Bioburden assessment by passive methods on a clinical pathology service in one central hospital from Lisbon: what can it tell us regarding patients and staff exposure? *Atmosphere*. 2020; 11(4): 351.
14. Unković N., Dimkić I., Stanković S., Jelikić A., Stanojević D., Popović S., et al. Seasonal diversity of biodeteriogenic, pathogenic, and toxicogenic constituents of airborne mycobiota in a sacral environment. *Arch. Hig. Rada Toksikol*. 2018; 69(4): 317–27. <https://doi.org/10.2478/aiht-2018-69-3194>
15. Libert X., Chasseur C., Packeu A., Bureau F., Roosens N.H., De Keersmaecker S.C.J. Exploiting the advantages of molecular tools for the monitoring of fungal indoor air contamination: first detection of *Exophiala jeanselmei* in indoor air of air-conditioned offices. *Microorganisms*. 2019; 7(12): 674. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120674>
16. Lykov I.N., Kusacheva S.A. Aeroecology of the indoor spaces with split systems. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2020; (2): 77–80. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-12077> (in Russian)
17. Liu W., Cai J., Sun C., Zou Z., Zhang J., Huang C. Associations between household airborne culturable fungi and allergies and airway illnesses in childhood in Shanghai, China. *Environ. Sci. Pollut Res. Int*. 2020; 27(29): 36570–8. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09717-w>
18. Guo K., Qian H., Zhao D., Ye J., Zhang Y., Kan H., et al. Indoor exposure levels of bacteria and fungi in residences, schools, and offices in China: A systematic review. *Indoor Air*. 2020; 30(6): 1147–65 <https://doi.org/10.1111/ina.12734>
19. Bakker A., Siegel J.A., Mendell M.J., Peccia J. Building and environmental factors that influence bacterial and fungal loading on air conditioning cooling coils. *Indoor Air*. 2018; 28(5): 689–96. <https://doi.org/10.1111/ina.12474>
20. Liu Z., Deng Y., Ma S., He B.J., Cao G. Dust accumulated fungi in air-conditioning system: Findings based on field and laboratory experiments. *Build Simul*. 2020; 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0693-3>
21. Viegas C., Faria T., de Oliveira A.C., Caetano L.A., Carolino E., Quintal-Gomes A., et al. A new approach to assess occupational exposure to airborne fungal contamination and mycotoxins of forklift drivers in waste sorting facilities. *Mycotoxin Res*. 2017; 33(4): 285–95. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0288-8>
22. Viegas C., Monteiro A., Dos Santos M., Faria T., Caetano L.A., Carolino E., et al. Filters from taxis air conditioning system: A tool to characterize driver's occupational exposure to bioburden? *Environ. Res*. 2018; 164: 522–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.032>
23. Bakker A., Siegel J.A., Mendell M.J., Prussin A.J. 2nd, Marr L.C., Peccia J. Bacterial and fungal ecology on air conditioning cooling coils is influenced by climate and building factors. *Indoor Air*. 2020; 30(2): 326–34. <https://doi.org/10.1111/ina.12632>
24. Acerbi E., Chénard C., Miller D., Gaultier N.E., Heinle C.E., Chang V.W., et al. Ecological succession of the microbial communities of an air-conditioning cooling coil in the tropics. *Indoor Air*. 2017; 27(2): 345–53. <https://doi.org/10.1111/ina.12306>

Original article

25. Zhang X., Liang J., Wang B., Lv Y., Xie J. Indoor air design parameters of air conditioners for mold-prevention and antibacterial in island residential buildings. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(19): E7316. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197316>
26. Almoffarreh H., Alsaleh F., Alruwaili M. Bacterial and fungal contamination of air conditioners filters and carpets. *Int. J. Environ. Agricult. Biotechnol.* 2016; 1(3): 399–404. <https://doi.org/10.22161/ijeab/1.3.14>
27. Liu Z., Yin H., Ma S., Wei B., Jensen B., Cao G. Effect of environmental parameters on culturability and viability of dust accumulated fungi in different HVAC segments. *Sustain. Cities Soc.* 2019; 48: 101538. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101538>
28. Vornanen-Winqvist C., Järvi K., Toomla S., Ahmed K., Andersson M.A., Mikkola R., et al. Ventilation positive pressure intervention effect on indoor air quality in a school building with moisture problems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15(2): 230. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020230>
29. Kuhn D.M., Ghannoum M.A. Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003; 16(1): 144–72. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.1.144-172.2003>
30. Li A., Chen X., Gu C., Gao R., Hu Z. Prediction of particle deposition in rectangular ventilation ducts. *Int. J. Vent.* 2012; 11(1): 69–78. <https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683971>

