

Микогенная контаминация жилых помещений как фактор биологического риска

Елена Владимировна Халдеева^{1*}, Надежда Ивановна Глушко¹,
Светлана Анатольевна Лисовская^{1,2}, Вениамин Романович Паршаков¹,
Гульназ Гумяровна Хайдарова¹

¹Казанский научно-исследовательский институт эпидемиологии
и микробиологии Роспотребнадзора, г. Казань, Россия;
²Казанский государственный медицинский университет,
г. Казань, Россия

Реферат

Цель. Оценка уровня микогенной контаминации и видового состава грибковой микробиоты жилых помещений г. Казани.

Методы. Проведено микологическое исследование 90 проб воздуха, а также 60 образцов из очагов грибкового биоповреждения, отобранных в жилых помещениях г. Казани, с использованием культуральных и микроскопических методов.

Результаты. Присутствие грибов-микроскопических грибов выявлено в 90% проб воздуха и 100% проб из очагов биоповреждения. Отмечено большее видовое разнообразие грибов в очагах по сравнению с пробами воздуха. Количество грибов в воздухе жилых помещений варьировало от 8 до 360 КОЕ/м³. Анализ видового состава грибковой микробиоты в очагах биоповреждения показал, что на поверхности очагов биоповреждения чаще присутствует контаминация неприхотливыми и способными к росту при различном уровне влажности видами грибов (*Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus stolonifer*). Возникающий грибковый налёт может создавать благоприятные условия для обитания более агрессивных грибов, активно повреждающих материалы (*Chaetomium spp.*, *Acremonium spp.*, *Aureobasidium spp.*). Отмечена широкая распространённость в воздухе жилых помещений аллергенных грибов, а также потенциально патогенных и токсинообразующих видов, что может быть фактором риска для здоровья людей. Количественная оценка микробиоты воздуха позволила охарактеризовать уровень выявленной микогенной контаминации как умеренный.

Вывод. Подтверждено присутствие в очагах биоповреждения потенциально патогенных, аллергенных и обладающих выраженными биоразрушающими свойствами видов грибов, а также взаимосвязь микогенной контаминации воздуха и распространения грибов в помещениях, что подтверждает необходимость предупреждения грибкового биоповреждения и контроля качества воздуха в помещениях.

Ключевые слова: микогенная контаминация, грибы-микроскопические грибки, микробиота, грибы-биодеструкторы, биоповреждение.

Для цитирования: Халдеева Е.В., Глушко Н.И., Лисовская С.А. и др. Микогенная контаминация жилых помещений как фактор биологического риска. *Казанский мед. ж.* 2020; 101 (4): 513–518. DOI: 10.17816/KMJ2020-513.

Indoor fungal contamination as a biological risk factor

E.V. Khaldeeva¹, N.I. Glushko¹, S.A. Lisovskaya^{1,2}, V.R. Parshakov¹, G.G. Khaidarova¹

¹Kazan Scientific and Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Kazan, Russia;

²Kazan State Medical University, Kazan, Russia

Abstract

Aim. To assess the degree of fungal contamination and the species composition of the fungal microbiota of residential apartments in Kazan

Methods. A mycological study of 90 air samples and 60 samples from sites of fungal biodeterioration from the residential buildings of Kazan was carried out using cultural and microscopic methods.

Results. The presence of micromycetes fungi were detected in 90% of air samples and 100% of samples from sites of biodeterioration. Higher fungal species diversity was noted in the sites, compared with air samples. Fungal concentrations in indoor air varied between 8 and 360 CFU/m³. Fungal community composition analysis of the sites of biodeterioration showed that the surfaces were more frequently contaminated by undemanding and capable of growth at different moisture levels fungal species (*Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus stolonifer*). The resulting fungal plaque can create conditions favorable for aggressive fungal species that actively damage materials (*Chaetomium spp.*, *Acremonium spp.*, *Aureobasidium spp.*). Allergenic fungi, as well as potentially pathogenic and toxin-forming species, were widespread in the air that can be a health risk factor. A quantitative assessment of air mycobiota indicated the moderate level of fungal contamination.

Conclusion. The presence of potentially pathogenic, allergenic and biodegradable fungal species in the sites of biodeterioration has been confirmed, as well as the relationship between airborne fungal contamination and the spread of fungi in indoors, confirming the need to prevent fungal biodeterioration and control indoor air quality.

Keywords: fungal contamination, micromycetes, mycobiota, biodestructive fungi, biodeterioration.

For citation: Khaldeeva E.V., Glushko N.I., Lisovskaya S.A. et al. Indoor fungal contamination as a biological risk factor. *Kazan Medical Journal*. 2020; 101 (4): 513–518. DOI: 10.17816/KMJ2020-513.

Актуальность. Микогенная контаминация современной городской среды — распространение микроскопических грибов в окружающем человека пространстве — в последние годы становится важным фактором биологического риска. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, воздействие микробиологических загрязнителей, в частности грибов, может способствовать возникновению широкого спектра нарушений здоровья, в том числе респираторных расстройств, астмы, аллергии, а также других патологических реакций со стороны иммунной системы [1].

Микроскопические грибы (микромикеты), естественным резервуаром которых служит почва, постоянно и повсеместно присутствуют в среде обитания человека [2]. Они находятся на поверхности различных сооружений, колонизируют сельскохозяйственную продукцию, фармацевтические и косметические средства, их споры хорошо переносятся воздушными потоками, попадая в организм человека в процессе дыхания. При этом грибы могут обладать опасными для здоровья человека свойствами. Наиболее значимы в этом плане грибы, обладающие патогенными, токсичными и аллергенными свойствами [2–4]. В то же время многие виды грибов обладают всеми перечисленными свойствами и, помимо этого, способны колонизировать и усваивать различные субстраты, вызывая их биодеградацию. Такие процессы, получившие название грибковой биодеградации, не только наносят значительный ущерб экономике, но и способны существенно повлиять на здоровье человека.

Важный фактор биологического риска — комплексный характер воздействия спор грибов и их метаболитов, способствующий возникновению и усугублению, прежде всего, респираторных

симптомов и микоаллергозов [1,5]. В то же время длительное воздействие даже низких концентраций микотоксинов и других метаболитов грибов может приводить к появлению системных нарушений, в том числе со стороны репродуктивной системы [6], а также, возможно, оказывать цитотоксическое и нейротоксическое действие [7,8].

Помимо этого, контаминация воздуха спорами грибов и вероятность контакта с микромикетами увеличивают риск возникновения грибковых инфекций, особенно у людей с нарушениями иммунной системы и групп населения, характеризующихся повышенной уязвимостью по причине состояния здоровья или возраста [9]. В связи с этим исследования, посвящённые изучению микогенной контаминации, остаются весьма актуальными [10–13].

В условиях современной городской среды, когда человек до 80–100% времени находится в помещениях, наиболее остра проблема микогенной контаминации воздуха [11–13]. Её источниками могут быть не только загрязнённый спорами грибов атмосферный воздух, но и системы вентиляции и кондиционирования, а также присутствующие в помещениях очаги грибковой биодеградации [1,5,13].

Цель. В связи с этим целью настоящей работы стала оценка уровня микогенной контаминации и видового состава грибковой микробиоты жилых помещений г. Казани.

Материал и методы исследования. Обследовано 30 жилых помещений, в которых произведён отбор 90 проб воздуха. Обследованные жилые помещения расположены в кирпичных (33,3%, n=10), панельных (60%, n=18) и монолитно-кирпичных (6,7%, n=2) зданиях, построенных в 2000–2018 гг. На верхних этажах расположено 11 (36,7%) квартир, на сред-

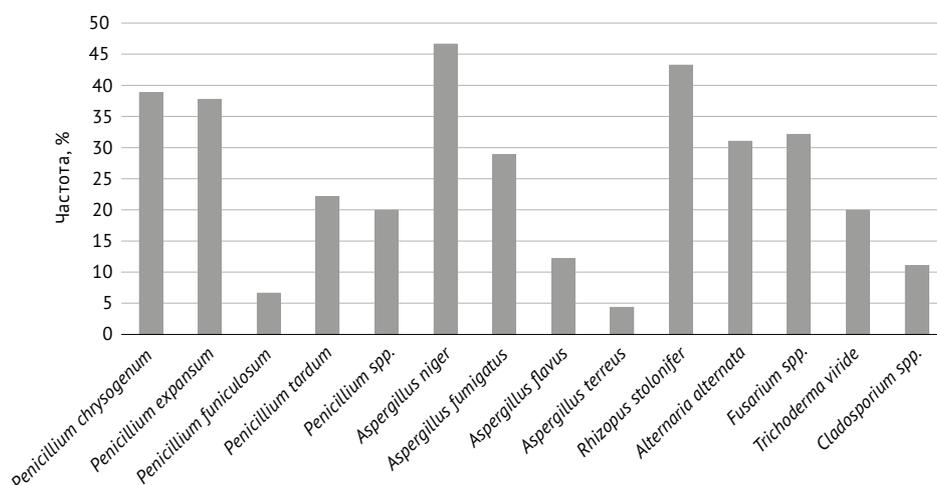


Рис. 1. Частота грибов-микросциетов в воздухе жилых помещений г. Казани (% общего числа проб воздуха)

них — 13 (43,3%), на первом — 6 (20%) квартир. Отбор проб проводили седиментационным и аспирационным методами с помощью пробоотборника ПУ-1Б на среды Сабуро и Чапека–Докса, объём пробы 250 л.

Параллельно осуществляли визуальную оценку наличия очагов грибкового биоповреждения и отбор проб из них методом мазков и соскобов. Проведён отбор 60 проб. Выполнено культуральное исследование всех отобранных образцов. Посев образцов проводили на среду Сабуро. Культивировали при 28 ± 2 °C в течение 7–16 сут. Идентификацию грибов проводили классическими методами по культурально-морфологическим признакам [14, 15].

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office, определены средние величины (M), стандартная ошибка средней (m). Для оценки распространённости микроорганизмов в исследуемых пробах рассчитана частота микроорганизмов (P), — отношение положительных на содержание данного вида микроорганизма проб к общему числу исследованных проб, выраженное в процентах.

Результаты и их обсуждение. В результате проведённых исследований проб воздуха присутствие грибов-микросциетов выявлено во всех обследованных жилых помещениях. Общее число положительных проб — 81 (90%). Анализ видового состава показал преобладание в воздухе квартир различных представителей родов *Penicillium* и *Aspergillus*, а также *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata* и *Fusarium spp.* (рис. 1). При этом в большинстве проб (83,3%, n=75) отмечено присутствие смешанной мико-

биоты, включавшей представителей нескольких родов либо нескольких видов одного рода. Следует отметить, что большинство выявленных видов грибов обладает выраженными аллергенными свойствами, способствуя развитию микоаллергозов [16, 17].

Количество грибов в воздухе жилых помещений варьировало от 8 до 360 колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 м^3 , что не превышает значения, которые рекомендуют рассматривать в качестве порога условной нормы (500 КОЕ/м^3) [1]. В то же время отмечено, что в помещениях с очагами грибкового биоповреждения большой площади количество грибов в воздухе в среднем было выше, чем в помещениях с локальными ограниченными очагами (252 ± 36 и $184 \pm 29 \text{ КОЕ/м}^3$ соответственно).

Высокая частота выявления в воздухе аллергенных видов грибов свидетельствует о наличии потенциального риска для здоровья людей, длительное время пребывающих в данных помещениях. Помимо этого, виды *A. flavus*, *A. fumigatus* и некоторые виды *Fusarium spp.* обладают токсикообразующими свойствами [3], что также может способствовать снижению качества воздуха.

Анализ результатов исследования проб из очагов биоповреждения подтвердил присутствие грибов в 100% случаев. Видовой состав грибов, выявленных в очагах, был значительно шире, чем в пробах воздуха, и заметно отличался от него (рис. 2).

Анализ видового состава грибковой микробиоты в очагах биоповреждения показал, что наиболее часто на поверхности очагов биоповреждения присутствует контаминация неприхотливыми и способными к росту при

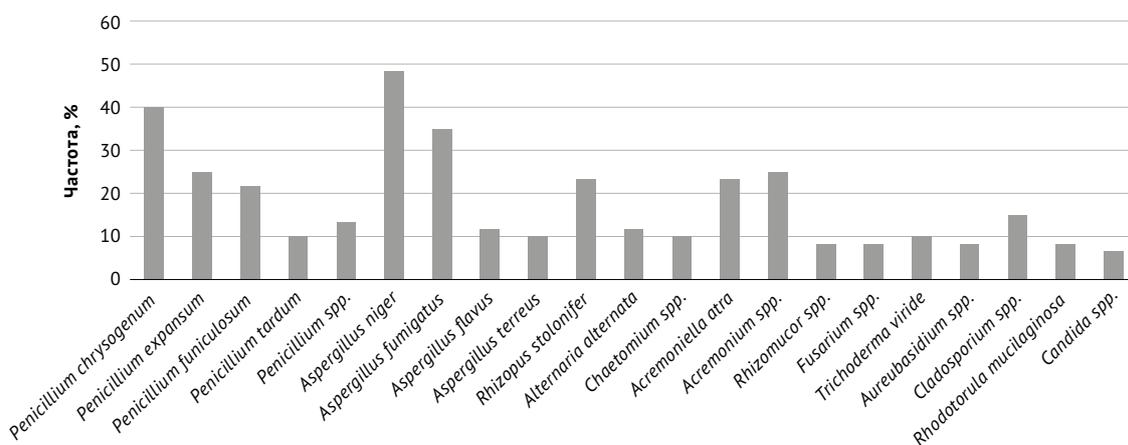


Рис. 2. Частота грибов-микромикетов в очагах биоповреждения в жилых помещениях г. Казани (% общего числа проб из очагов)

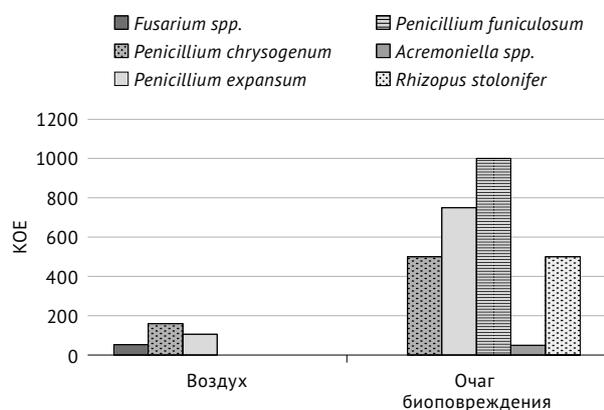


Рис. 3. Сопоставление качественного и количественного состава микобиоты воздуха (КОЕ/м³) и очага биоповреждения (КОЕ/дм²); КОЕ — колониобразующие единицы



Рис. 4. Локализация очагов грибкового биоповреждения (% количества обследованных помещений)

различном уровне влажности видами грибов (*Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus stolonifer*). Возникающий грибковый налёт может создавать благоприятные условия для обитания более агрессивных грибов, активно повреждающих материалы (*Chaetomium spp.*, *Acremonium spp.*, *Aureobasidium spp.*) [18].

Формирующийся в этих условиях очаг грибковой биодеструкции характеризуется широким спектром видового состава микобиоты, включающим представителей различных родов. В составе выявляемых на поверхности очагов биоповреждения микстов наряду с активными биодеструкторами отмечали присутствие видов, аналогичных пробам воздуха. Типичное соотношение состава микобиоты воздуха и очага биоповреждения представлено на рис.3. Выявление в помещениях с обширными очагами грибкового биоповреждения более высокой (в среднем в 1,4 раза) микогенной контаминации воздуха и присутствие на визуально благополучных участках стен в обследованных помещениях тех же видов грибов,

что и в воздухе, даёт основание предположить связь микогенной контаминации воздуха и распространения грибов в помещениях.

Согласно литературным данным, факторы, способствующие развитию очагов грибкового биоповреждения в жилых помещениях, — повышенная влажность, ограниченный воздухообмен, а также нарушение теплоизоляции. В нашем исследовании чаще всего очаги биоповреждения локализовались на откосах окон, внешних стенах, а также потолках квартир, расположенных на верхних этажах (рис.4). В ряде случаев возникновение очагов биоповреждения было обусловлено авариями систем теплоснабжения, водопроводных или канализационных сетей.

ВЫВОДЫ

1. Проведённые исследования подтвердили присутствие грибов-микромикетов в воздухе всех обследованных жилых помещений

с преобладанием видов, имеющих аллергенные свойства. Количественная оценка микобиоты воздуха позволила охарактеризовать уровень выявленной микогенной контаминации как умеренный.

2. Выявлено большое видовое разнообразие микобиоты в очагах биоповреждения, в том числе присутствие потенциально патогенных и аллергенных видов грибов. Подтверждено присутствие в очагах биоповреждения видов, обладающих выраженными биоразрушающими свойствами, а также видов, аналогичных составу микобиоты воздуха. При этом в помещениях с большими по площади очагами биоповреждения отмечали большее количество грибов в воздухе.

Участие авторов. Е.В.Х. — анализ и обработка результатов, написание статьи, руководитель работы; Н.И.Г. и С.А.Л. — проведение исследований, анализ результатов; В.Р.П. и Г.Г.Х. — сбор материала, проведение исследований.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха в помещениях: сырость и плесень. Копенгаген. 2009 (пер. рус. 2014). <https://www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2009/who-guidelines-for-indoor-air-quality-dampness-and-mould.-executive-summary/who-guidelines-for-indoor-air-quality-dampness-and-mould> (дата обращения: 06.05.2020). [*WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 2009. <https://www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2009/who-guidelines-for-indoor-air-quality-dampness-and-mould.-executive-summary/who-guidelines-for-indoor-air-quality-dampness-and-mould> (access date: 06.05.2020).]
2. Марфенина О.Е., Фомичёва Г.М. Потенциальные патогенные мицелиальные грибы в среде обитания человека. Современные тенденции. В кн.: *Успехи медицинской микологии*. Т. 1. М.: Национальная академия микологии. 2007; 235–266. [Marfenina O.E., Fomicheva G.M. Potensial'nyye patogennyye mitselial'nyye griby v srede obitaniya cheloveka. Sovremennyye tendentsii. (Potential pathogenic mycelial fungi in the human environment. Modern tendencies.) In: *Uspekhi medicinskoj mikologii*. Vol. 1. M.: Natsional'naya akademiya mikologii. 2007; 235–266. (In Russ.)]
3. Васильева Н.В., Елинов Н.П. *Микроорганизмы-контаминанты и патогены-индукторы процессов старения больничных зданий и помещений медицинского назначения, а также возбудители некоторых заболеваний людей*. СПб.: Коста. 2009; 224 с. [Vasil'yeva N.V., Elinov N.P. *Mikroorganizmy-kontaminanty i patogeny-induktory protsessov stareniya bol'nichnykh zdaniy i pomeshcheniy meditsinskogo naznacheniya, a takzhe vozбудители некоторых заболеваний людей*. (Microorganisms-contaminants and pathogens-inducers of the aging processes of hospital buildings and medical facilities, as well as pathogens of certain human diseases.) SPb.: Kosta. 2009; 224 p. (In Russ.)]
4. Старцев С.А., Антонов В.Б., Беляков Н.А. и др. *Биоповреждения больничных зданий и их влияние на здоровье человека*. Под ред. А.П. Щербо, В.Б. Антонова. СПб.: МАПО. 2008; 232 с. [Startsev S.A., Antonov V.B., Belyakov N.A. et al. *Biopovrezhdeniye bol'nichnykh zdaniy i ikh vliyaniye na zdorovye cheloveka*. (Biodamage hospital building and their impact on human health.) SPb.: MAPO. 2008; 232 p. (In Russ.)]
5. Богомолова Е.В., Уханова О.П., Санеева И.В. Микологические факторы риска в городской среде. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016; 18 (2–3): 637–641. [Bogomolova E.V., Ukhanova O.P., Saneeva I.V. Mycological risk factors in the urban environment. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016; 18 (2–3): 637–641. (In Russ.)]
6. Lottrup G., Andersson A.-M., Leffers H. et al. Possible impact of phthalates on infant reproductive health. *Int. J. Andrology*. 2006; 29 (1): 172–180. DOI: 10.1111/j.1365-2605.2005.00642.x.
7. Kuhn D.M., Ghannoum M.A. Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: Infectious disease perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003; 16 (1): 144–172. DOI: 10.1128/CMR.16.1.144-172.2003.
8. Boutin-Forzano S., Kadouch-Charpin C., Ham-mou Y. et al. Indoor molds, mycotoxins and health. *Environnement, Risques et Sante*. 2006; 5: 383–389.
9. Антонов В.Б. Антропогенно-очаговые болезни жителей большого города. *Ж. инфектологии*. 2009; 1 (2–3): 7–12. [Antonov V.B. Antropogenic-hearth illness of habitants of large city. *Journal infectology*. 2009; 1 (2–3): 7–12. (In Russ.)]
10. Губернский Ю.Д., Беляева Н.Н., Калинина Н.В. и др. К вопросу распространения и гигиенического нормирования грибкового загрязнения воздушной среды жилых и общественных зданий. *Гигиена и санитария*. 2013; (5): 98–104. [Gubernskiy Yu.D., Belyaeva N.N., Kalinina N.V. et al. On the question of occurrence and the problem of hygiene rating of fungal air pollution of the environment of residential and public buildings. *Gigiyena i sanitariya*. 2013; (5): 98–104. (In Russ.)]
11. Жебрак И.С., Манафова А.М. Сезонная динамика и дифференциация аэромикоты помещений учреждения образования (г. Гродно, Беларусь). *Социал.-экол. технол.* 2018; (1): 88–111. [Zhebrak I.S., Manafova A.M. Seasonal dynamics and differentiation of aer mikota premises of the educational institution (Grodno, Belarus). *Sotsial'no-ekologicheskoye tekhnologii*. 2018; (1): 88–111. (In Russ.)] DOI: 10.31862/2500-2966-2018-1-88-111.
12. Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Крыленков В.А. и др. Сравнительное исследование аэромикоты арктических станций по Северному морскому пути. *Экология человека*. 2018; (4): 16–21. [Kirtsideli I.Yu., Vlasov D.Yu., Krylenkov V.A. et al. Comparative study of airborne fungi at Arctic stations near water area of the Northern Sea Route. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (4): 16–21. (In Russ.)]
13. Prussin A.J. II, Marr L.C. Sources of airborne microorganisms in the built environment. *Microbiome*. 2015; 3: 78. DOI: 10.1186/s40168-015-0144-z.
14. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. *Определитель патогенных и условно-патогенных грибов*. Пер. с англ. М.: Мир. 2001; 468 с. [Sutton D.A., Fother-

gill A.W., Rinaldi M.G. *Opredeletel' patogennykh i uslovo-patogennykh gribov.* (Guide to clinically significant fungi.) М.: Mir. 2001; 468 p. (In Russ.)]

15. Лугаускас А.Ю., Микульскене А.И., Шляужене Д.Ю. *Каталог микромицетов-биодеструкторов полимерных материалов.* М.: Наука. 1987; 340 с. [Lugauskas A.Yu., Mikulskine A.I., Shlyauzhene D.Yu. *Katalog mikromitsetov — biodestruktorov polimernykh materialov.* (Catalog of micromycetes — biodestructors polymeric materials.) М.: Nauka. 1987; 349 p. (In Russ.)]

16. Царёв С.В. Аллергия к грибам: особенности клинических проявлений и диагностики. *Астма и аллергия.* 2015; (3): 3–7. [Tsarev S.V. Fungal allergy: features of clinical manifestations and diagnosis. *Astma i allergiya.* 2015; (3): 3–7. (In Russ.)]

17. Антонов В.Б. Микогенные аллергии в городской экосистеме: эпидемиология, клиника, лечение. *Вестн. Санкт-Петербургской мед. академии последипломного образования.* 2010; 2 (4): 77–81. [Antonov V.B. Mycogenous allergies in the urban ecosystem: epidemiology, medical clinic, therapy. *Vestnik Sankt-Peterburgskoy meditsinskoy akademii poslediplomnogo obrazovaniya.* 2010; 2 (4): 77–81. (In Russ.)]

18. Старцев С.А. Проблемы обследования строительных конструкций, имеющих признаки биоповреждения. *Инженерно-строительн. ж.* 2010; (7): 41–46. [Starcev S.A. Problems of inspection of building structures with signs of biodeterioration. *Magazine of civil engineering.* 2010; (7): 41–46. (In Russ.)]