

Научная статья

<https://doi.org/10.36233/0372-9311-120>

Дополнительный резервуар госпитальных микроорганизмов в медицинских организациях

Чезганова Е.А.¹, Ефимова О.С.², Сахарова В.М.³, Ефимова А.Р.⁴,
Созинов С.А.², Исмагилов З.Р.², Брусина Е.Б.¹

¹ Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Россия;

² Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кемерово, Россия;

³ Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово, Россия;

⁴ Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области, Кемерово, Россия

Введение. Подавляющее большинство инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП), развиваются в результате колонизации локусов пациентов госпитальными штаммами возбудителей.

Цель исследования — изучение дополнительного резервуара микроорганизмов в медицинских организациях.

Материалы и методы. Исследовано 28 образцов больничной пыли методами сканирующей электронной микроскопии и динамического рассеяния света, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и высокотемпературного каталитического окисления, 97 проб — полимеразной цепной реакцией и на бактериологическом анализаторе «VITEK®2 Compact» с целью исследования микробного разнообразия. Проведены индикация биологических плёнок ($n = 29$) с помощью каталазного индикатора, определение общего количества микроорганизмов в 1 м³ воздуха.

Результаты. Пыль вентиляционных решеток контаминирована в 71,13% случаев, доля резистентных к антибиотикам штаммов бактерий — в 69,44%, бактерий, образующих биопленки, — в 48%. Биоразнообразие представлено 21 родом микроорганизмов, сохранявшимся в течение 6 мес. Во всех образцах присутствовала наноразмерная фракция. Органический субстрат представлен углеродом (16,26–50,69%), азотом (1,59–25,03%), водородом (2,03–6,67%), серой (0,15–2,38%) и кислородом (20,02–37,50%). Общее микробное число до и после открывания дверей и окон — 276 и 462 КОЕ/м³ соответственно ($p = 0,046$). Минеральный компонент содержал натрий (0,07–1,86%), магний (0,11–1,40%), алюминий (0,36–1,78%), кремний (0,21–4,64%), фосфор (0,04–0,81%), хлор (0,05–2,83%), калий (0,04–0,85%), кальций (0,19–7,49%), железо (0,08–1,61%).

Обсуждение. Широкий спектр микроорганизмов, наличие органического субстрата и микроэлементов свидетельствуют о возможности сохранения, накопления и возврата в больничную среду возбудителей ИСМП.

Заключение. На решетках вытяжных вентиляционных систем и прилежащих частей воздуховодов в условиях медицинских организаций может формироваться дополнительный резервуар микроорганизмов — возбудителей ИСМП, играющий значимую роль в поддержании эпидемического процесса ИСМП.

Ключевые слова: резервуар, микроорганизмы, пылевые частицы, инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи.

Благодарность. Результаты получены с использованием оборудования Кемеровского центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-415-420004 р_а «Оценка роли пыли угольной промышленности в формировании резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов микроорганизмов в больничной среде».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Чезганова Е.А., Ефимова О.С., Сахарова В.М., Ефимова А.Р., Созинов С.А., Исмагилов З.Р., Брусина Е.Б. Дополнительный резервуар госпитальных микроорганизмов в медицинских организациях. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2021;98(3):266–275.

DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-120>

A novel source of hospital microorganisms in healthcare settings

Evgenia A. Chezganova^{1✉}, Olga S. Efimova², Vera M. Sakharova³, Anna R. Efimova⁴,
Sergey A. Sozinov², Zinfer R. Ismagilov², Elena B. Brusina¹

¹Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia;

²Institute of Coal Chemistry and Material Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia;

³Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia;

⁴Kemerovo Regional Center for Hygiene and Epidemiology, Kemerovo, Russia

Abstract

Background. Most healthcare-associated infections (HAI) develop due to a colonization of patients and healthcare workers by hospital strains of pathogens. The aim to study was to assess whether the dust within the health facilities can harbor microorganisms acting as a reservoir of HAIs.

Materials and methods. Dust samples collected in the air ducts and ventilation grilles of health facilities underwent a detailed physicochemical analysis by means of scanning electron microscopy, dynamic light scattering, energy-dispersive X-ray spectroscopy, and high-temperature catalytic oxidation. Bacterial and viral diversity was investigated using an automated biochemical analyzer and polymerase chain reaction, respectively. Investigation of the microenvironment included detection of biofilms using a catalase indicator and quantification of viable microorganisms per 1 m³ air.

Results. Dust from the hospital ventilation grilles and air ducts was contaminated with microorganisms in 71.13% of cases. Strikingly, multidrug-resistant and biofilm-forming strains have been found in 69.4% and 48.0% of samples, respectively. The total viable count before and after opening doors and windows was 276 and 462 colony-forming units/m³ respectively ($p = 0.046$). Biodiversity was represented by 21 genera of microorganisms which were consistently detected upon 6 months of follow-up. All samples contained a nanosized particulate matter. Chemical elements comprising dust were carbon (16.26–50.69%), oxygen (20.02–37.50%), nitrogen (1.59–25.03%), hydrogen (2.03–6.67%), sulfur (0.15–2.38%), calcium (0.19–7.49%), silicon (0.21–4.64%), chlorine (0.05–2.83%), sodium (0.07–1.86%), aluminum (0.36–1.78%), iron (0.08–1.61%), magnesium (0.11–1.40%), potassium (0.04–0.85%), and phosphorus (0.04–0.81%).

Discussion. A wide range of multidrug-resistant strains of bacteria, detected in a hospital particulate matter with a diverse chemical composition, indicates the persistence of HAI-causing pathogens in the hospital environment.

Conclusion. Dust from the ventilation grilles and adjacent air ducts should be considered as an additional reservoir of multidrug-resistant strains of bacteria in the healthcare settings.

Keywords: *reservoir, microorganisms, particulate matter, healthcare-associated infections*

Acknowledgement. The results were obtained using the equipment of the Kemerovo Center for Collective Use of the Federal Research Center for Coal Chemistry and Material Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Funding source. The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research and Kemerovo Region «Particulate coal matter as a possible reservoir of multidrug-resistant microorganisms in a hospital environment», project number 20-415-420004 p_a.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Chezganova E.A., Efimova O.S., Sakharova V.M., Efimova A.R., Sozinov S.A., Ismagilov Z.R., Brusina E.B. A novel source of hospital microorganisms in healthcare settings. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology = Zhurnal mikrobiologii, èpidemiologii i immunobiologii*. 2021;98(3):266–275.
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-120>

Введение

Интенсивное развитие медицинских технологий неразрывно сопряжено с проблемой эффективности контроля инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП). В современной структуре подавляющее большинство (60%) ИСМП развиваются в результате колонизации локусов пациентов и медицинского персонала госпитальными штаммами (клонами) возбудителей [1]. Основным резервуаром возбудителей ИСМП яв-

ляется организм пациентов, в котором происходят селекция и накопление эпидемических вариантов возбудителей. Вместе с тем 30% всех ИСМП вызывают возбудители группы сапронозов, резервуар которых находится в больничной среде [2]. Такие микроорганизмы (МО) отличаются высокой толерантностью к неблагоприятным факторам, размножаются и накапливаются в воде, растворах, на влажных объектах [3, 4], сохраняются длительное время на оборудовании [5] и даже на сухих поверх-

ностях [6]. Роль воздушного, воздушно-пылевого путей передачи в распространении мультирезистентных МО недостаточно изучена и противоречива [7].

Цель исследования — изучение дополнительного резервуара МО в медицинских организациях.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базах различных медицинских организаций Кемеровской области: в отделениях хирургического, реанимационного, педиатрического, инфекционного профилей. Пыль отбирали в операционных блоках, процедурных кабинетах, перевязочных, смотровых, централизованных стерилизационных отделениях; палатах интенсивной терапии реанимационных отделений, палатах отделений гнойной, общей и детской хирургии, онкологических отделений, отделений химиотерапии, пульмонологии, детских инфекционных и педиатрических отделений, госпиталя для больных COVID-19.

Отбор проб пыли ($n = 97$) осуществлялся в стерильные ёмкости стерильной перчаткой с внутренней стороны вентиляционных решёток и непосредственно прилежащих к ним частей воздухопроводов вытяжных вентиляционных систем в различных медицинских организациях.

Исследование формы, размерности и элементного состава частиц пыли ($n = 28$) проводили при помощи сканирующей электронной микроскопии на микроскопе «Jeol JSM-6390 LA» («Jeol»). Определение содержания элементов (C, H, N, S) в составе органической массы было проведено методом высокотемпературного каталитического окисления (CHNSO-анализ) с использованием элементного анализатора «Flash 2000» («ThermoScientific»). Средний размер и распределение размерности частиц пыли в растворе ($n = 28$) были определены методом динамического рассеяния света на лазерном анализаторе «ZetasizerNano ZS» («Malvern Instruments»). Перед проведением съёмки исследуемые частицы были ресуспендированы в фильтрованной (220 нм) стерильной бидистиллированной воде и обработаны ультразвуком в течение 20 мин до получения устойчивых дисперсных систем. Далее было проведено удаление крупных частиц фильтрованием через бумажный фильтр и фильтрующие насадки с диаметром пор 450 и 220 нм. Для каждого образца было выполнено 10–50 измерений, осуществлявшихся до получения не менее 5 сходящихся результатов. Температура при проведении измерения составила 25°C (с предварительным 20-минутным термостатированием).

Выявление РНК ротавирусов группы А, астровирусов и норовирусов генотипа 2 во всех пробах ($n = 97$) проводилось методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с гибридизационно-флюоресцент-

ной детекцией при помощи тест-системы «АмплиСенс® Rotavirus/Norovirus/Astrovirus-FL» (ФБУН ЦНИИЭ Роспотребнадзора). Аналогичным образом была выполнена идентификация РНК энтеровирусов ($n = 97$, тест-система «АмплиСенс® Enterovirus-FL»), РНК вируса гепатита А ($n = 97$, тест-система «АмплиСенс® HAV-FL»), РНК SARS-CoV-2 ($n = 22$, тест-система «РеалБест РНК SARS-CoV-2», «Вектор-Бест»), а также ДНК *Shigella* spp., энтероинвазивных *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. и термофильных *Campylobacter* spp. ($n = 97$, тест-системы «АмплиСенс® *Shigella* spp.» и «EIEC/*Salmonella* spp./*Campylobacter* spp.-FL»).

Для изучения бактериального состава применялась оригинальная авторская методика: пробы пыли ($n = 97$) засеивали в 1% сахарный бульон и далее инкубировали при 37°C в течение 24 ч. Затем культуры пересевали на кровяной агар, агар *Candida*, агар Orientation с последующей инкубацией при аналогичной температуре и времени. Для дифференциальной диагностики грамотрицательных МО (энтеробактерий и неферментирующих бактерий) осуществляли пересев на среду Клигелера с дальнейшим выращиванием в термостате по вышеуказанному протоколу. Определение видовой принадлежности бактерий проводили на бактериологическом автоматическом анализаторе «VITEK®2 Compact» («BioMerieux») с использованием карт «VITEK®2 GN», предназначенных для идентификации клинически значимых ферментирующих и неферментирующих грамотрицательных палочек и включающих 47 индивидуальных бактериологических тестов, а также карт «VITEK®2 GP», позволяющих идентифицировать 120 грамположительных МО. Для заполнения соответствующих карт прибора из полученных культур готовили суспензию с оптической плотностью в 0,50–0,63 стандарта МакФарланда согласно инструкции производителя («BioMerieux»). Чувствительность к антимикробным препаратам определяли на анализаторе «VITEK®2 Compact».

Индикацию биологических плёнок на поверхности 29 решеток вытяжных вентиляционных систем проводили с помощью каталазного индикатора «BFR peroxyfilm» («BFR laboratories») в соответствии с МР 4.2.0161-19 «Методы индикации биологических плёнок МО на абиотических объектах».

Определение общего количества МО в 1 м³ воздуха (КОЕ/м³) в различных функциональных подразделениях медицинской организации на расстоянии 1 м от вентиляционных решёток до и во время открывания окон и дверей проводили аспирационным методом с помощью импактора воздуха микробиологического «Флора-100» ($n = 18$). Заданный объем воздуха составил 250 дм³.

Статистическую обработку результатов осуществляли в программе «GraphPad Prism7» («Graph-

Pad Software»). Две независимые группы сравнивали по U-критерию Манна–Уитни. Различия между показателями оценивали при помощи критериев Вилкоксона, χ^2 при уровне доверительных значений $p < 0,05$.

Результаты

Выявлено, что в 69 пробах пыли присутствовали МО (71,13%). При этом в 66 пробах из 97 идентифицированы бактерии (68,04%), в 13 — вирусы (13,4%). В 11 пробах (шестая часть всех проб с МО) присутствовали и вирусы, и бактерии (11,3%). Только в 5 пробах обнаружены плесневые грибы (5,15%). Разнообразие бактерий представлено 21 родом с выраженным преобладанием в структуре грамотрицательных бактерий (76,74%) над грамположительными (23,26%), выявлено 69,44% резистентных к антибиотикам штаммов по бактериальному составу, образование биоплёнок встречалось в 48% случаев. Споровые формы бактерий в структуре составили 41,1%. Были идентифицированы *Staphylococcus pseudintermedius*, *Staphylococcus hominis* ssp. *hominis*, *Micrococcus* spp., *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus durans*, *Moraxella lacunata*, *Raoultella ornithinolytica*, *Rhizobium radiobacter*, *Klebsiella pneumoniae*, *Kluyvera intermedia*, *Pantoea*, *Pasteurella canis*, *Pasteurella testudinis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas luteola*, *Aeromonas sobria*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Brevundimonas diminuta*, *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter haemolyticus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Shewanella putrefaciens*, *Serratia plymuthica*, *Bordetella bronchiseptica*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Chromobacterium violaceum*, *Cronobacter dublinensis*. Чаще других контаминировали пыль *Enterococcus* spp. (16,28%). Бактерии группы сапронозов составили в структуре 51,16%, при этом чаще встречались *Sphingomonas paucimobilis* (13,96%) и *Acinetobacter* spp. (6,98%).

РНК ротавирусов группы А обнаружена из 97 проб пыли в 13 (13,40%) образцах, в 3 (3,09%) пробах обнаружена РНК норовирусов генотипа 2. Вирусы идентифицированы в стационарах педиатрического профиля ($p = 0,0004$). Ни в одной из исследованных проб РНК SARS-CoV-2 ($n = 22$), отобранных в ковидарии, а также в медицинских организациях неинфекционного профиля, где были зарегистрированы заносы COVID-19, не была обнаружена.

При повторном исследовании (через 6 мес) микрофлоры внутренней поверхности идентичных вентиляционных решеток и прилежащих частей воздуховодов во всех случаях были обнаружены бактерии, однако не было установлено присутствия нуклеиновых кислот вирусов.

Установлено, что общее микробное число в процессе открывания и закрывания дверей и окон

составляло 20–736 КОЕ/м³, средние значения до и после открывания — 276 и 462 соответственно. Общее микробное число во время открывания дверей и окон изменялось от единичных значений до 10 раз, $p = 0,046$ (рис. 1).

Бактерии в пыли в отделениях хирургического профиля встречались в 4 раза чаще, чем в отделениях нехирургического профиля ($p = 0,0001$), в то время как значимых различий в частоте контаминации пыли вирусами не выявлено ($p = 0,361$).

Пыль в зонах медицинских технологий была контаминирована МО в 2,45 раза реже, чем пыль в зонах пребывания пациентов (палаты), $p = 0,0001$.

В исследованных образцах выявлены два морфологических типа пыли (рис. 2): с глобулярными частицами (60,71%) и микроразмерными волокнами (39,29%) без зависимости от профиля отделений, территориальной расположенности медицинских организаций. Хотя частота контаминации МО пыли с микроразмерными волокнами выше (OR = 1,78 [0,23–15,06]; $\chi^2 = 0,431$; $p = 0,512$), однако статистическая значимость показателя не достигнута.

Во всех образцах выявлена наноразмерная фракция пыли. Не установлено зависимости между размерностью частиц пыли и профилем отделений.

Подтверждено наличие органического субстрата в исследованных образцах, доли элементов составили: углерода (16,26–50,69%), азота (1,59–25,03%), водорода (2,03–6,67%), серы (0,15–2,38%) и кислорода (20,02–37,50%), при этом пыль, отобранная в отделениях реанимационного, педиатрического профиля, содержала больший весовой процент азота, чем пыль отделений хирургического

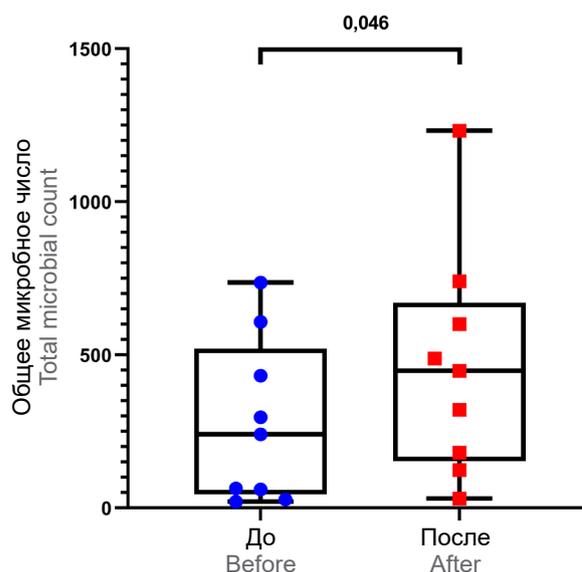


Рис. 1. Общее микробное число в помещениях многопрофильного стационара до и после открывания дверей и окон.

Fig. 1. The total microbial count in the wards of healthcare settings before and after opening doors and windows.

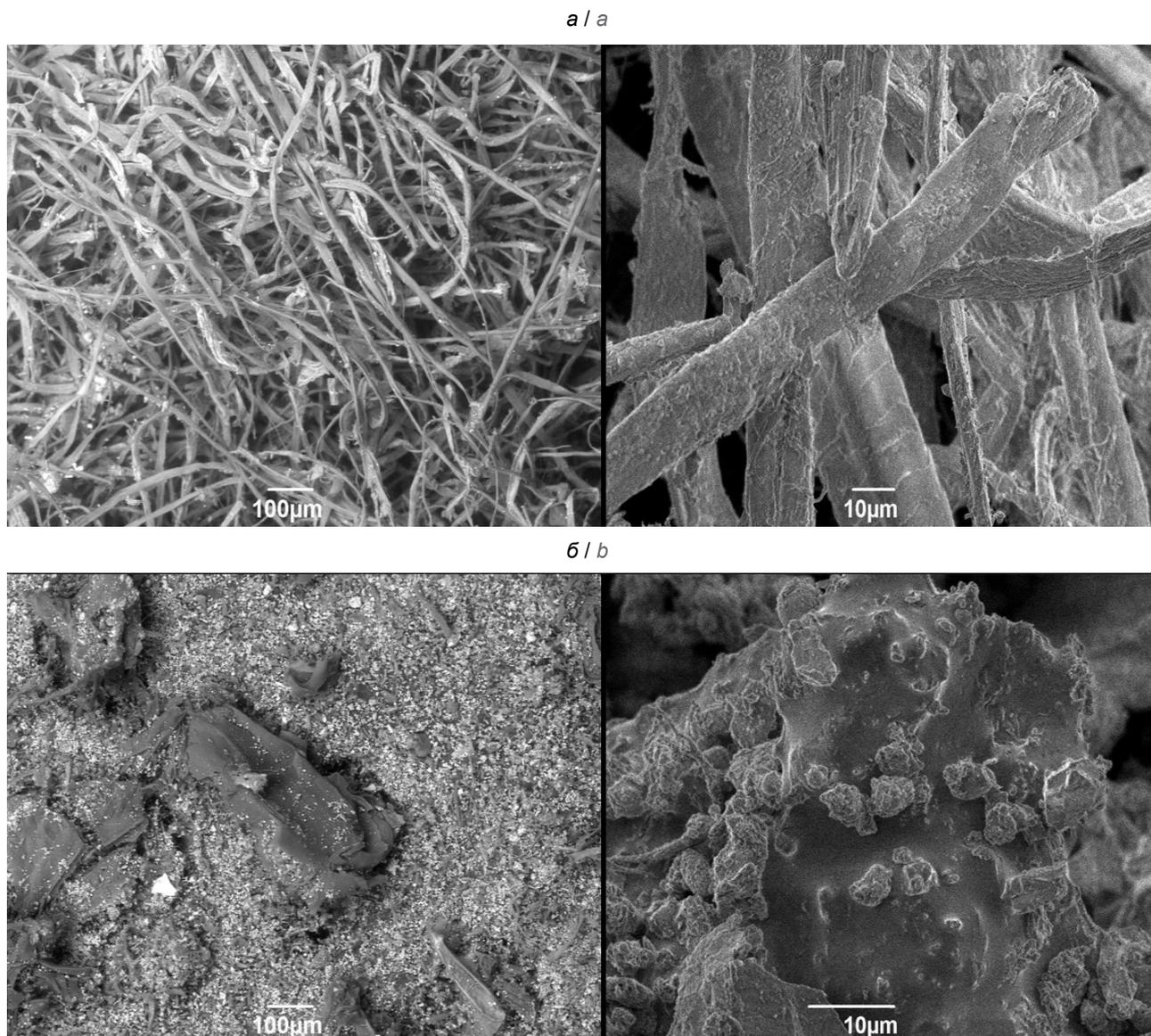


Рис. 2. Морфологическая характеристика образцов пыли микроразмерными волокнами (а) и глобулярными частицами (б).

Fig. 2. Morphological characteristics of dust samples with micro-sized fibers (a) and globular particles (b).

профиля ($p = 0,003$). Пыль, отобранная в палатах, содержала больший весовой процент азота, чем пыль, отобранная в операционных ($p = 0,05$; **рис. 3**).

При исследовании минерального компонента образцов пыли выявлены натрий (0,07–1,86%), магний (0,11–1,40%), алюминий (0,36–1,78%), кремний (0,21–4,64%), фосфор (0,04–0,81%), сера (0,19–2,58%), хлор (0,05–2,83%), калий (0,04–0,85%), кальций (0,19–7,49%), железо (0,08–1,61%). Большой весовой процент калия ($p = 0,05$) и углерода ($p = 0,02$) обнаружен в реанимационных и детских отделениях (**рис. 4**). Пыль с адсорбированными вирусами содержала больший весовой процент кислорода ($p = 0,003$) в неорганической части и азота ($p = 0,04$) в органической части, чем пыль без вирусов (**рис. 5**).

Суммарно корреляционные связи представлены на тепловой карте (**рис. 6**).

Обсуждение

Больничной стационар представляет собой специфическую экологическую систему, в которой непрерывно происходит селекция штаммов, способных эффективно конкурировать с другими МО и формировать госпитальные клоны, обладающие высоким эпидемическим потенциалом, способностью вызывать тяжелые формы инфекций и длительно сохраняться в больничной среде [1]. К настоящему времени хорошо изучены риск, условия сохранения и накопления возбудителей ИСМП на различных объектах больничной среды, оборудовании, в растворах лекарственных и дезинфици-

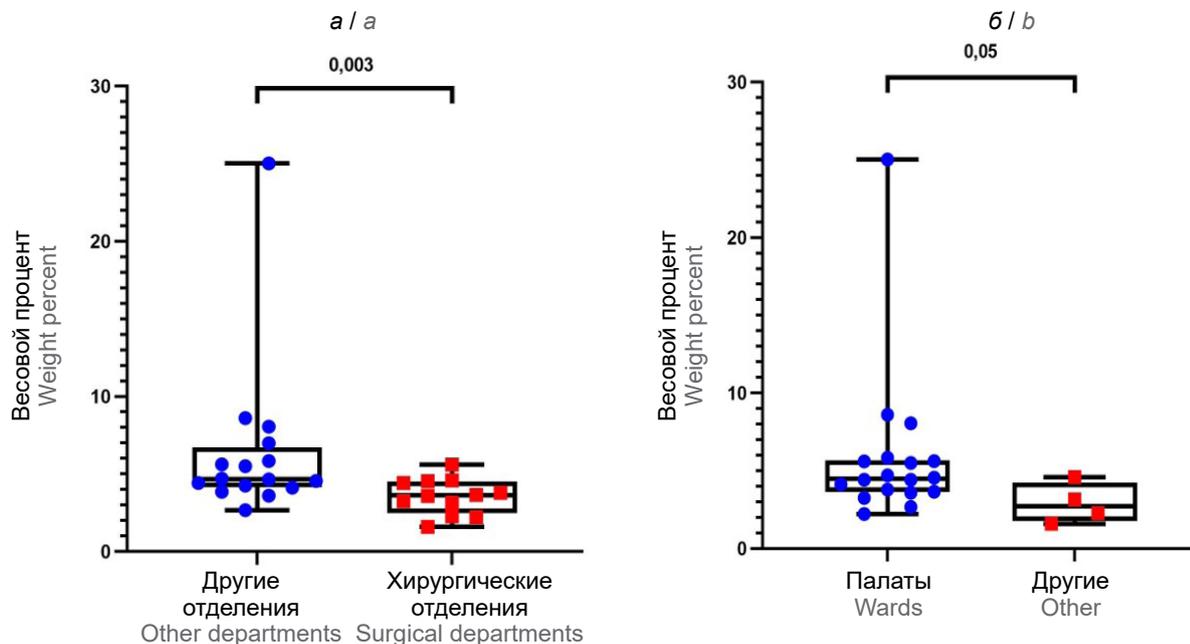


Рис. 3. Содержание азота (весовые проценты) в пыли различных типов отделений (а) и функциональных подразделений (б) медицинских организаций.

Fig. 3. The content of nitrogen (weight percent) in the dust of various types of healthcare settings (a) and functional units (b) in healthcare settings.

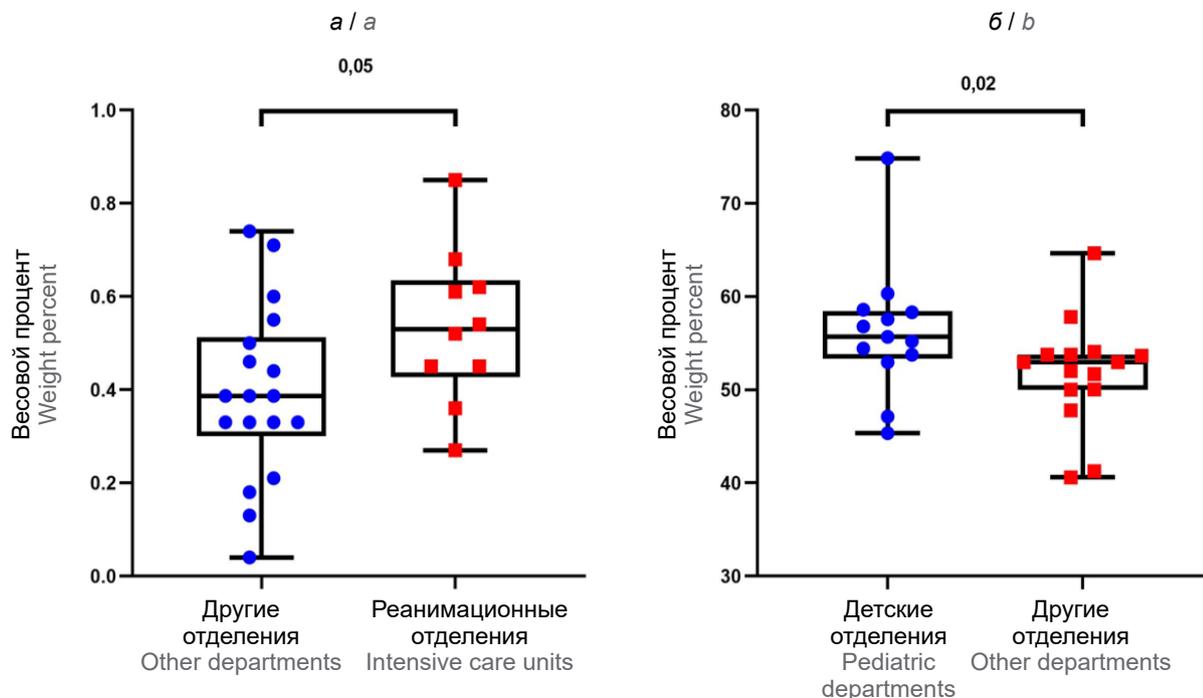


Рис. 4. Содержание калия (а) и углерода (б) в пыли различных типов отделений медицинских организаций (весовые проценты).

Fig. 4. The content of potassium (a) and carbon (b) in the dust of various types of compartments in healthcare settings (weight percent).

рующих средств. Показана зависимость сохранения жизнеспособных МО от температуры, влажности [8], рН среды, присутствия других МО, химических веществ, материала поверхностей (металл, пластик,

резина и др. [9]. Подробно изучены различные факторы передачи, такие как вода, руки, инструменты [10], растворы, конструктивные элементы аппаратов [11, 12].

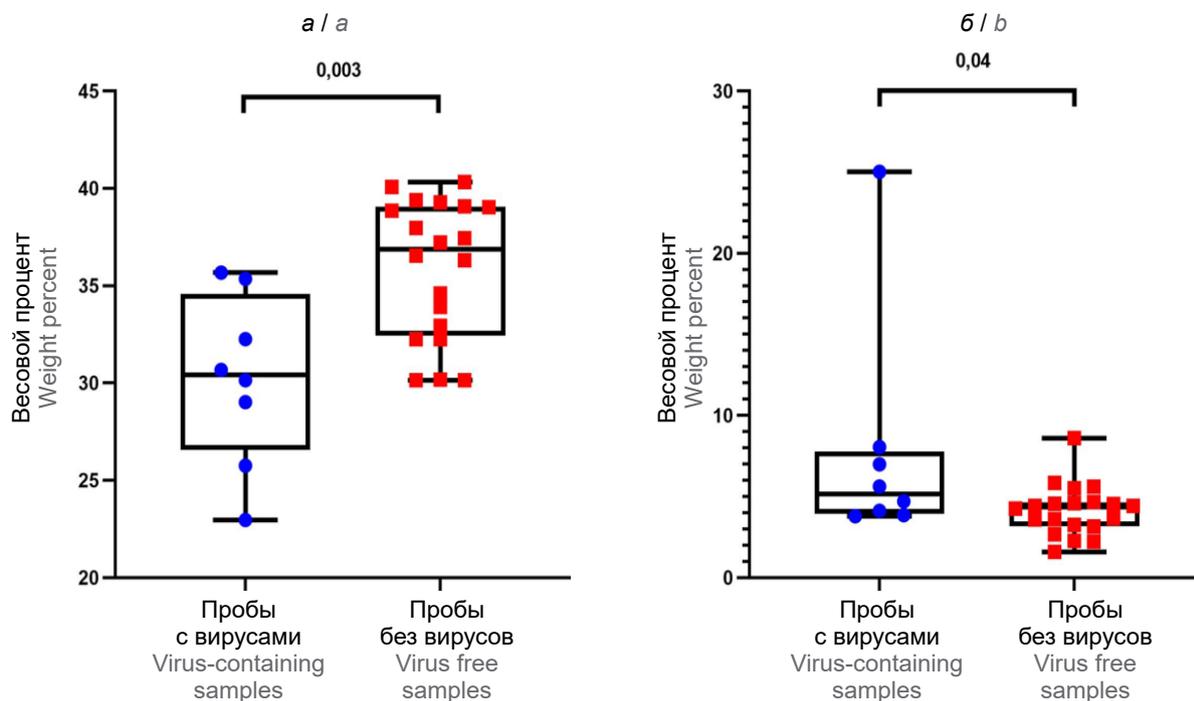


Рис. 5. Содержание кислорода (а) и азота (б) в пыли с адсорбированными вирусами и без них (весовые проценты).

Fig. 5. The content of oxygen (a) and nitrogen (b) in the dust with and without adsorbed viruses (weight percent).

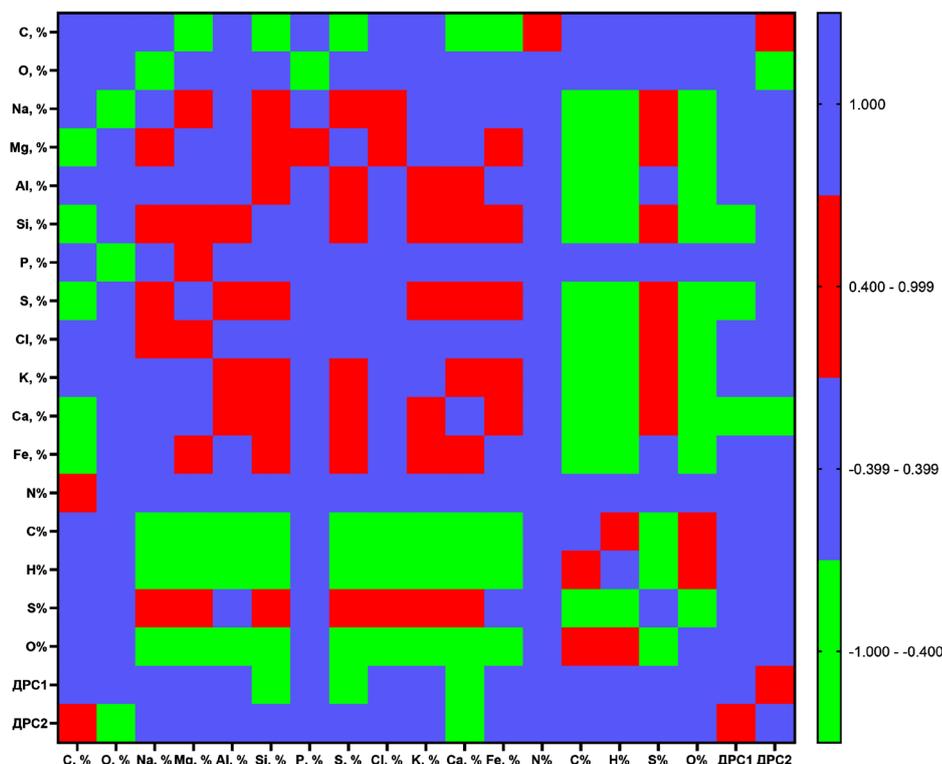


Рис. 6. Тепловая карта. Цветом обозначены коэффициенты корреляции.

Fig. 6. Heatmap. The color indicates the correlation coefficients.

Априори считается, что присутствие пыли в медицинских организациях минимально, а следовательно, несущественна и её роль в передаче возбудителей ИСМП. Однако в последние годы аэро-

зольной передаче возбудителей ИСМП уделяется всё больше внимания. Работами исследовательской группы L. Bourgoiба и соавт. был убедительно показан турбулентный характер распространения по-

тока аэрозоля, образующего при физиологических и патологических респираторных актах, и направленное его движение не только в сагиттальной плоскости, но и в верхние слои воздушного пространства помещения, вентиляционные каналы, а также неопределенно долгая циркуляция наноразмерных частиц и возможность перемещения этой фракции аэрозольного облака на значительные расстояния [13]. Вентиляционные каналы, как известно, подлежат периодической дезинфекции. Однако внутренние поверхности вентиляционных решеток и прилежащее к ним пространство воздуховода часто содержит пыль, т.к. недоступно для регулярной очистки, удаления пыли и дезинфекции. Это приводит к созданию резервуара для МО, которые с воздушными потоками в комплексе пылевая частица–МО способны возвращаться в зону дыхания и проникать в носоглотку и дыхательные пути пациентов. Обнаруженный широкий спектр МО, в том числе мультирезистентных к антибиотикам штаммов бактерий, РНК рота- и норовирусов и высокая частота контаминации пыли вентиляционных решеток свидетельствуют о возможности не только сохранения, но и накопления, возврата в больничную среду актуальных возбудителей ИСМП. Эксперимент с открыванием окон и дверей подтвердил значительное возрастание микробной обсемененности воздуха палат на расстоянии 1 м под вентиляционной решеткой, что подтверждает возможность контаминации не только зоны дыхания пациента, но и поверхностей больничной среды, риска колонизации локусов организма пациента. Такой возврат в больничную среду ротавирусов может приводить к групповой внутрибольничной заболеваемости ротавирусной инфекцией, поскольку инфицирующая доза для развития заболевания мала. Обнаружение наноразмерной фракции (< 5 мкм) во всех исследованных образцах пыли подтвердило риск длительной циркуляции комплекса частица–МО в воздушной среде, проникновения в нижние отделы дыхательных путей, что как минимум существенно для колонизации этого локуса. Полученные нами данные согласуются с результатами других исследователей [14].

Очевидно неблагоприятные условия сухой пыли определили избирательность сохранения МО: значительная доля выделенных в пыли бактерий были грамотрицательные (76,74%), проявляли резистентность к антибиотикам (69,44%), почти половина относилась к группе сапронозов, находились в споровой форме, образовывали биопленки, что увеличивает значение пыли в сохранении наиболее способных к широкому распространению штаммов МО. Однако выживание бактерий на объектах больничной среды не является достаточным критерием существования в больничной пыли дополнительного резервуара. Вместе с тем длительность

существования возбудителей ИСМП в пыли (6 мес), установленное наличие органического субстрата (углерода, водорода, азота, серы и кислорода), присутствующее разнообразие микроэлементов (натрий, магний, алюминий, кремний, фосфор, калий, кальций, железо) позволяют потенциально рассматривать пыль, скапливающуюся на внутренних поверхностях вентиляционных решеток, прилежащих к ним частей воздухопроводов вытяжных систем как дополнительный резервуар резистентных госпитальных штаммов МО. Ранее нами была показана триггерная роль присутствующих в пыли угольных микрочастиц в сохранении возбудителей ИСМП [15]. Что касается связи морфологии пылевых частиц с частотой и характером контаминации МО, то она требует дополнительного уточнения. В настоящее время можно утверждать, что значение этого дополнительного резервуара отличается для разных структурных отделений и функциональных подразделений стационара, видов МО.

Заключение

На решетках вытяжных вентиляционных систем и прилежащих частях воздухопроводов в условиях медицинских организаций может формироваться дополнительный резервуар МО — возбудителей ИСМП, играющий значимую роль в поддержании эпидемического процесса ИСМП.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брико Н.И., Брусина Е.Б., Зуева Л.П., Ковалишена О.В., Ряпис Л.А., Стасенко В.Л. и др. Госпитальный штамм – неизвестная реальность. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2013; (1): 30–5.
2. Брусина Е.Б. Эпидемиология инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, вызванных возбудителями группы сапронозов. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2015; 14(2): 50–6.
<https://doi.org/10.31631/2073-3046-2015-14-2-50-56>
3. Salm F., Deja M., Gastmeier P., Kola A., Hansen S., Behnke M., et al. Prolonged outbreak of clonal MDR *Pseudomonas aeruginosa* on an intensive care unit: contaminated sinks and contamination of ultra-filtrate bags as possible route of transmission? *Antimicrob. Resist. Infect. Control*. 2016; 5: 53.
<https://doi.org/10.1186/s13756-016-0157-9>
4. Kanwar A., Domitrovic T.N., Koganti S., Fuldauer P., Cadnum J.L., Bonomo R.A., et al. A cold hard menace: A contaminated ice machine as a potential source for transmission of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Am. J. Infect. Control*. 2017; 45(11): 1273–5.
<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.05.007>
5. Johnson R.C., Deming C., Conlan S., Zellmer C.J., Michelin A.V., Lee-Lin S., et al. Investigation of a cluster of *Sphingomonas koreensis* infections. *N. Engl. J. Med.* 2018; 379(26): 2529–39. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1803238>
6. Robustillo-Rodela A., Pérez-Blanco V., Espinel Ruiz M.A., Ruiz Carrascoso G., Figueira Iglesias J.C., Abad Martín D. Successful control of 2 simultaneous outbreaks of OXA-48 carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae* and multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* in an intensive care unit. *Am. J. Infect. Control*. 2017; 45(12): 1356–62.
<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.07.018>

7. Chia P., Sengupta S., Kukreja A., Ponnampalavanar S., Ng O.T., Marimuthu K. The role of hospital environment in transmissions of multidrug-resistant gram-negative organisms. *Antimicrob. Resist. Infect. Control.* 2020; 9(1): 29. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-0685-1>
8. Dekic S., Hrenovic J., van Wilpe E., Venter C., Goic-Barisic I. Survival of emerging pathogen *Acinetobacter baumannii* in water environment exposed to different oxygen conditions. *Water Sci. Technol.* 2019; 80(8): 1581–90. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.408>
9. Parvin F., Hu H., Whiteley G.S., Glasbey T., Vickery K. Difficulty in removing biofilm from dry surfaces. *J. Hosp. Infect.* 2019; 103(4): 465–7. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.07.005>
10. Chen J.C., Munir M.T., Aviat F., Lepelletier D., Le Pape P., Dubreil L., et al. Survival of bacterial strains on wood (*Quercus petraea*) compared to polycarbonate, aluminum and stainless steel. *Antibiotics (Basel)*. 2020; 9(11): 804. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110804>
11. Weber D.J., Anderson D., Rutala W.A. The role of the surface environment in healthcare-associated infections. *Curr. Opin. Infect. Dis.* 2013; 26(4): 338–44. <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e3283630f04>
12. Harris D., Taylor K.P., Napierkowski K., Zechmann B. Indoor finish material influence on contamination, transmission, and eradication of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *HERD*. 2020; 14(1): 118–28. <https://doi.org/10.1177/1937586720952892>
13. Bourouiba L., Dehandschoewercker E., Bush J. Violent expiratory events: on coughing and sneezing. *J. Fluid Mech.* 2014; 745: 537–63. <https://doi.org/10.1017/jfm.2014.88>
14. Liu N.M., Miyashita L., Maher B.A., McPhail G., Jones C.J.P., Barratt B., et al. Evidence for the presence of air pollution nanoparticles in placental tissue cells. *Sci. Total Environ.* 2021; 751: 142235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142235>
15. Чезганова Е.А., Ефимова А.Р., Сахарова В.М., Ефимова А.Р., Созинов С.А., Исмагилов З.Р. и др. Оценка роли пыли в формировании резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов микроорганизмов в отделениях хирургического профиля. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020; 5(1): 15–25. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2019-4-3-8-14>
4. Kanwar A., Domitrovic T.N., Koganti S., Fuldauer P., Cadnum J.L., Bonomo R.A., et al. A cold hard menace: A contaminated ice machine as a potential source for transmission of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Am. J. Infect. Control.* 2017; 45(11): 1273–5. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.05.007>
5. Johnson R.C., Deming C., Conlan S., Zellmer C.J., Michelin A.V., Lee-Lin S., et al. Investigation of a cluster of Sphingomonas koreensis infections. *N. Engl. J. Med.* 2018; 379(26): 2529–39. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1803238>
6. Robustillo-Rodela A., Pérez-Blanco V., Espinel Ruiz M.A., Ruiz Carrascoso G., Figueira Iglesias J.C., Abad Martín D. Successful control of 2 simultaneous outbreaks of OXA-48 carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae* and multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* in an intensive care unit. *Am. J. Infect. Control.* 2017; 45(12): 1356–62. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.07.018>
7. Chia P., Sengupta S., Kukreja A., Ponnampalavanar S., Ng O.T., Marimuthu K. The role of hospital environment in transmissions of multidrug-resistant gram-negative organisms. *Antimicrob. Resist. Infect. Control.* 2020; 9(1): 29. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-0685-1>
8. Dekic S., Hrenovic J., van Wilpe E., Venter C., Goic-Barisic I. Survival of emerging pathogen *Acinetobacter baumannii* in water environment exposed to different oxygen conditions. *Water Sci. Technol.* 2019; 80(8): 1581–90. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.408>
9. Parvin F., Hu H., Whiteley G.S., Glasbey T., Vickery K. Difficulty in removing biofilm from dry surfaces. *J. Hosp. Infect.* 2019; 103(4): 465–7. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.07.005>
10. Chen J.C., Munir M.T., Aviat F., Lepelletier D., Le Pape P., Dubreil L., et al. Survival of bacterial strains on wood (*Quercus petraea*) compared to polycarbonate, aluminum and stainless steel. *Antibiotics (Basel)*. 2020; 9(11): 804. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110804>
11. Weber D.J., Anderson D., Rutala W.A. The role of the surface environment in healthcare-associated infections. *Curr. Opin. Infect. Dis.* 2013; 26(4): 338–44. <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e3283630f04>
12. Harris D., Taylor K.P., Napierkowski K., Zechmann B. Indoor finish material influence on contamination, transmission, and eradication of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *HERD*. 2020; 14(1): 118–28. <https://doi.org/10.1177/1937586720952892>
13. Bourouiba L., Dehandschoewercker E., Bush J. Violent expiratory events: on coughing and sneezing. *J. Fluid Mech.* 2014; 745: 537–63. <https://doi.org/10.1017/jfm.2014.88>
14. Liu N.M., Miyashita L., Maher B.A., McPhail G., Jones C.J.P., Barratt B., et al. Evidence for the presence of air pollution nanoparticles in placental tissue cells. *Sci. Total Environ.* 2021; 751: 142235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142235>
15. Чезганова Е.А., Ефимова А.Р., Сахарова В.М., Ефимова А.Р., Созинов С.А., Исмагилов З.Р., et al. Particulate matter as a possible reservoir of multidrug-resistant microorganisms in surgical healthcare settings. *Fundamental'naya i klinicheskaya meditsina*. 2020; 5(1): 15–25. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2019-4-3-8-14> (in Russian)

REFERENCES

1. Briko N.I., Brusina E.B., Zueva L.P., Kovalishena O.V., Ryapis L.A., Stasenko V.L., et al. Hospital strain — mysterious reality. *Epidemiologiya i vaksinoprofilaktika*. 2013; (1): 30–5. (in Russian)
2. Brusina E.B. Epidemiology of healthcare-associated infections, caused by sapronoses group pathogens. *Epidemiologiya i vaksinoprofilaktika*. 2015; 14(2): 50–6. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2015-14-2-50-56> (in Russian)
3. Salm F., Deja M., Gastmeier P., Kola A., Hansen S., Behnke M., et al. Prolonged outbreak of clonal MDR *Pseudomonas aeruginosa* on an intensive care unit: contaminated sinks and contamination of ultra-filtrate bags as possible route of transmission? *Antimicrob. Resist. Infect. Control.* 2016; 5: 53. <https://doi.org/10.1186/s13756-016-0157-9>

Информация об авторах

Чезганова Евгения Андреевна[✉] — аспирант каф. эпидемиологии КГМУ, Кемерово, Россия, echezganova1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0770-0993>

Ефимова Ольга Сергеевна — к.х.н., н.с. лаб. высокотемпературных углеродных материалов Института углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-003-4495-0983>

Information about the authors

Evgenia A. Chezganova[✉] — postgraduate student, Department of epidemiology, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia, echezganova1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0770-0993>

Olga S. Efimova — Cand. Sci. (Chem.), researcher, Institute of Coal Chemistry and Material Science, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-003-4495-0983>

Сахарова Вера Михайловна — врач-бактериолог НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7458-0621>

Ефимова Анна Роняевна — к.м.н., врач-вирусолог Центра гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9319-3053>

Созинов Сергей Анатольевич — к.физ.-мат.н., в.н.с. Института углекислоты и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2833-1536>

Исмагилов Зинфер Ришатович — д.х.н., проф., член-корр. РАН, директор Института углекислоты и химического материаловедения СО РАН, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1520-9216>

Брусина Елена Борисовна — д.м.н., проф., зав. каф. эпидемиологии КГМУ, Кемерово, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8616-3227>

Участие авторов. ЧЕА — сбор материала, анализ полученных данных, написание статьи; ЕОС — исследование распределения частиц по размерам методом динамического рассеяния света, элементный анализ пылевых частиц; СВМ — микробиологическое исследование образцов пыли; ЕАР — микробиологическое исследование образцов пыли; ССА — проведение сканирующей электронной микроскопии; ИЗР — разработка концепции и дизайна исследования, координация проведения исследований по изучению физико-химических свойств пылевых частиц, анализ результатов; БЕБ — разработка концепции и дизайна исследования, координация выполнения работы, анализ результатов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Статья поступила в редакцию 27.01.2021;
принята к публикации 22.03.2021;
опубликована 27.05.2021

Vera M. Sakharova — bacteriologist, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7458-0621>

Anna R. Efimova — Cand. Sci. (Med.), virologist, Kemerovo Regional Center of Hygiene and Epidemiology, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9319-3053>

Sergey A. Sozinov — Cand. Sci. (Phys.-Math.), leading researcher, Institute of Coal Chemistry and Material Science, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2833-1536>

Zinifer R. Ismagilov — D. Sci. (Chem.), Prof., Academician of RAS, chief executive officer, Institute of Coal Chemistry and Material Science, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1520-9216>

Elena B. Brusina — D. Sci. (Med.), Prof., Head, Department of epidemiology, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8616-3227>

Author contribution. EAC — data collection, data analysis, manuscript writing; OSE — dynamic light scattering, elemental composition of the particulate matter; VMS — microbiological analysis of the particulate matter; ARE — microbiological analysis of the particulate matter; SAS — scanning electron microscopy; ZRI — study design and coordination; data analysis; EBB — study design and coordination; data analysis. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published.

The article was submitted 27.01.2021;
accepted for publication 22.03.2021;
published 27.05.2021