

Оценка защитных свойств некоторых видов анатомических масок

А. Ю. Михеев*,¹, кандидат физико-математических наук

А. В. Авсеенко

В. Н. Морозов*, доктор физико-математических наук

* ФГБУН ИТЭБ РАН, Пущино

Резюме. В статье описаны результаты сравнительной оценки защитных свойств четырех видов медицинских масок, используемых потребителями для защиты от вредных аэрозолей. Новые анатомические медицинские маски показали значительно более высокие результаты как по качеству фильтрующего материала, так и по плотности прилегания к лицу по сравнению с обыкновенной медицинской маской.

Ключевые слова: органы дыхания, защита, маска медицинская.

Assessment of protective properties of some types of anatomic masks

A. Yu. Mikheev, A. V. Avseenko, V. N. Morozov

Abstract. The article describes results of comparative assessment of protective properties of four types of medical masks, which consumers use for protection from harmful aerosols. The new anatomic medical masks showed significantly higher results, both by quality of their filtering material, and by tightness of face fitting as compared to a usual medical mask.

Keywords: respiratory apparatus, protection, medical mask.

Развитие промышленности сделало негативное влияние человека на экологию Земли определяющим. Одним из самых важных критериев благоприятной экологической обстановки является чистота воздуха. В отличие от продуктов питания или воды, чистоту воздуха простому потребителю контролировать гораздо сложнее.

По литературным данным, жители более промышленно развитого Северного Китая имеют в среднем на три года меньшую продолжительность жизни, чем жители аграрного Южного Китая. Исследователи связывают эту разницу с чистотой воздуха — в воздухе Северного Китая присутствует огромное количество взвешенных частиц, появившихся в результате заводских выбросов [1].

В России проблема загрязнения воздуха касается только крупных промышленных городов. По данным Росгидромета, в 12 из 35 крупнейших городов России загрязнение воздуха взвешенными частицами превышает предельно допустимые

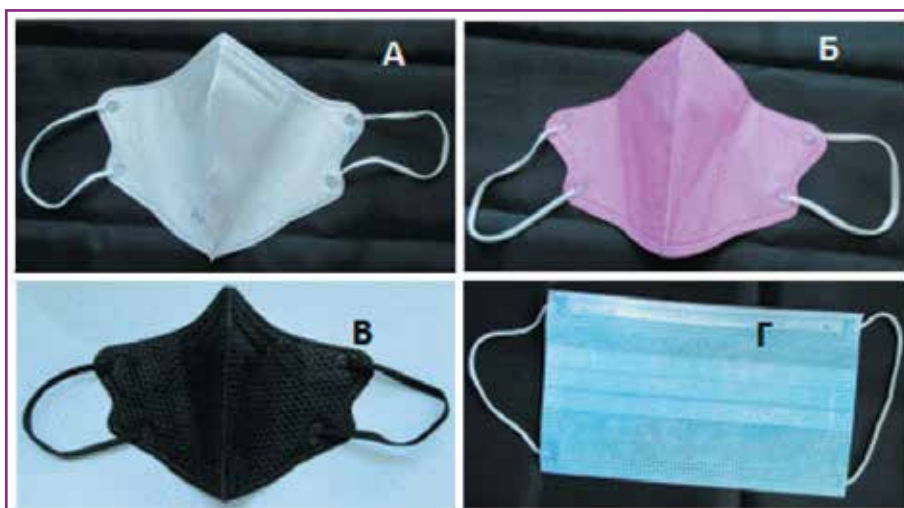


Рис. 1. Фотографии испытанных масок. А — белая маска; Б — розовая маска; В — черная маска; Г — синяя маска

показатели, что, несомненно, сказывается на здоровье их жителей [4, 6].

Еще одним критерием чистоты воздуха является наличие или отсутствие в нем опасного биологического аэрозоля — патогенных вирусов, бактерий и грибов. Как правило, в крупных городах проблема биологически грязного воздуха стоит

наиболее остро, об этом свидетельствуют регулярно возникающие волны респираторных заболеваний [3].

В качестве средства индивидуальной защиты органов дыхания в повседневной жизни человека чаще всего выступают медицинские маски. В связи с этим целью данной работы стала сравнитель-

¹ Контактная информация:
2miheev@gmail.com

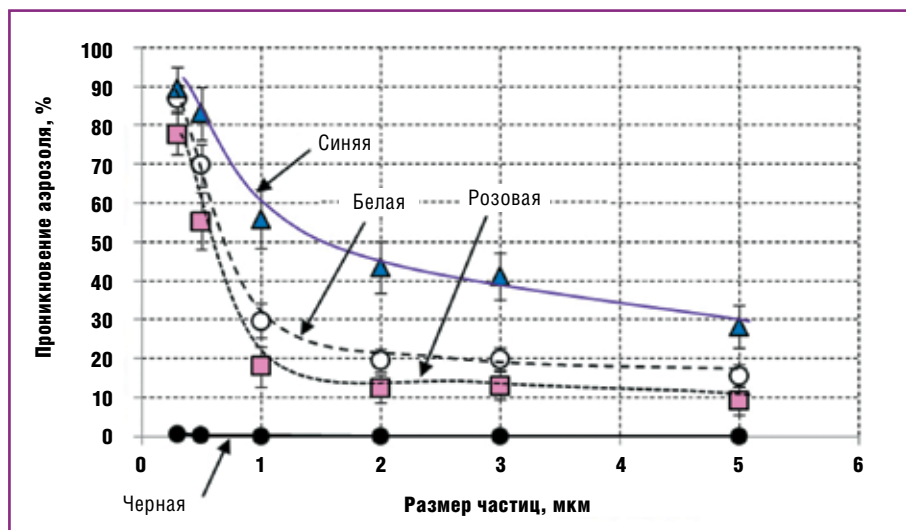


Рис. 2. Протекание аэрозольных частиц разного размера через материал масок

Сопrotивление потоку для фильтрующего материала разных масок

Таблица 1

Маска	Белая «Барьерный риф» SB	Розовая «Masker's» SL	Черная «Masker's» NF	Синяя обычная
ΔP при V = 1 см/сек, Па	14,2	16,1	17,3	11,5
Стандартное отклонение	1,2	1,0	0,4	0,1

ная оценка защитных свойств четырех видов медицинских масок.

В качестве критериев оценки нами были выбраны следующие: оценка фильтрующих свойств материала масок, сопротивление материала масок потоку воздуха и плотность прилегания масок к лицу.

Материалы и методы исследования

Виды исследуемых анатомических масок

Были исследованы защитные свойства четырех медицинских масок, изображения которых представлены на рис. 1.

Белая маска — маска анатомическая медицинская «Барьерный риф» в варианте исполнения SB без клапана, на резинках с носовым фиксатором, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Розовая маска — маска анатомическая медицинская «Masker's» в варианте исполнения SL без клапана, на резинках с носовым фиксатором, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Черная маска — маска анатомическая медицинская «Masker's» в варианте исполнения NF с клапаном, на резинках с носовым фиксатором, с клапаном выдоха, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Синяя маска — медицинская маска трехслойная, на резинках с носовым фиксатором, производитель ООО «Ньюфарм», Ивановская обл., г. Кинешма, Россия.

Измерения сопротивления потоку воздуха фильтрующего материала масок

Для измерения сопротивления потоку воздуха фильтрующего материала масок была задействована специальная установка.

Процедура оценки сопротивления потоку воздуха состояла в измерении падения давления на держателе при разных скоростях потока нагнетаемого воздуха. Сначала измеряли падение давления на держателе без закрепленного фильтра. Затем материал маски плотно зажимали в держателе и производили измерение давления при нескольких скоростях потока воздуха. Падение на фильтре рассчитывали по разности значений давления, полученных с фильтром, и значений, измеренных без фильтра.

Измерение прохождения аэрозольных частиц 0,3–5,0 микрон через материал масок

Для измерения прохождения аэрозольных частиц диаметром 0,3–5,0 микрон использовали лазерный счетчик аэрозольных частиц фирмы «Аэронанотех» (модель 4705). Прибор был откалиброван производителем в соответствии с требованиями Национального института стандартов и технологии США (National

Institute of Standards and Technology, NIST).

Процедура измерения состояла в последовательном измерении концентрации аэрозольных частиц разного размера. Процент пропускания частиц каждого размера I рассчитывали по формуле (1) как отношение числа частиц каждого размера, прошедших через фильтр C_{ϕ} , к среднему значению концентрации соответствующего аэрозоля в комнате C_0 :

$$I = 100\%(C_{\phi}/C_0) \quad (1)$$

Качество фильтровального материала K определяется отношением логарифма пропускания аэрозоля материалом фильтра к величине сопротивления потоку, которое в простейшем случае можно выразить падением давления ΔP на фильтрополотне:

$$K = -\lg(I)/\Delta P \quad (2)$$

Обычно производили 5 измерений в разных участках на каждом образце маски.

Измерение прохождения больших аэрозольных частиц на примере ликоподия (споры плауна булавовидного, *Lycopodium clavatum*) через материал масок

При исследовании проницаемости материала масок для крупных аэрозольных частиц были использованы споры плауна, *Lycopodium clavatum*, с размерами около 30 микрон. Эти споры доступны коммерчески под именем ликоподий. Они используются в медицине в качестве детской присыпки, для обсыпки пилюль и в народной медицине для заживления ран.

Для измерений была задействована специальная установка. При этом последовательно с исследуемым образцом материала маски соединяли наночастицы, изготовленные в лаборатории из капроновых нановолокон методом электропрядения, как описано в работе [5].

Число частиц, прошедших через образец, определяли прямым подсчетом частиц на капроновом наночастице, который оптически прозрачен, поэтому частицы ликоподия легко различимы на фильтре при небольшом увеличении микроскопа.

Оценка плотности прилегания анатомических масок к лицу

При небольших изменениях давления при плотном и неплотном прилегании маски к лицу доброволец не меняет режим дыхания, и поток воздуха из легких остается одинаковым в обоих случаях. Поэтому:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} + Q' \quad (3)$$

Поток воздуха при плотном прилегании равен отношению падения давления на маске при плотном прилегании к сопротивлению маски, а при неплот-

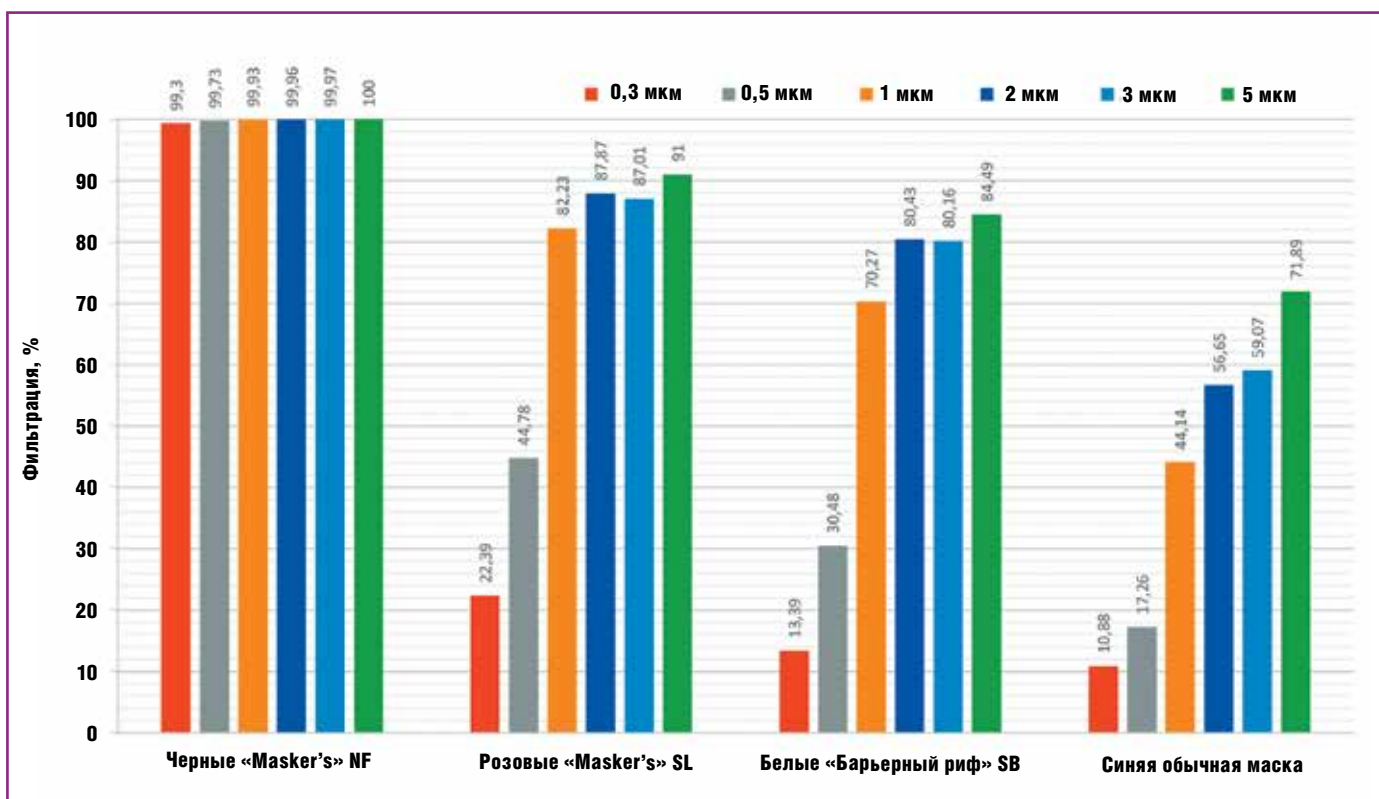


Рис. 3. Эффективность фильтрации аэрозольных частиц разного размера материалом масок

Таблица 2

Коэффициент проскока наноаэрозольных частиц разного размера в интервале 0,3–5,0 микрон

Маска	Черная «Masker's» NF		Розовая «Masker's» SL		Белая «Барьерный риф» SB		Синяя обычная	
	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение
0,3	0,70	0,09	77,61	5,31	86,61	3,55	89,12	5,54
0,5	0,27	0,08	55,22	7,36	69,52	5,54	82,74	6,75
1	0,07	0,04	17,77	5,17	29,73	4,42	55,86	7,56
2	0,04	0,03	12,13	3,63	19,57	2,87	43,35	6,63
3	0,03	0,03	12,99	3,73	19,84	2,82	40,93	6,07
5	0,00	0,00	9,00	3,47	15,51	2,70	28,11	5,36

ном — отношению падения давления на маске при неплотном прилегании к тому же сопротивлению маски:

$$Q_{\text{п}} = \Delta P_{\text{п}} / R_{\text{м}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{н}} = \Delta P_{\text{н}} / R_{\text{м}} \quad (5)$$

Отсюда плотность прилегания маски к лицу равна отношению падения давления на маске при неплотном прилегании к падению давления на маске при плотном прилегании:

$$J = 100\% \left(\frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{п}}} \right) = 100\% \left(\frac{\Delta P_{\text{н}}}{\Delta P_{\text{п}}} \right) \quad (6)$$

$$J = 100\% Q_{\text{н}} Q_{\text{п}} \Delta P_{\text{п}} \Delta P_{\text{н}}$$

Если измерить падение давления на маске при плотном и неплотном прилегании, можно оценить плотность прилегания маски к лицу.

Для измерения падения давления на маске при дыхании была задействована специальная установка.

Результаты и обсуждение

Зависимость падения давления на фильтрополотне от скорости потока

Как видно, несмотря на усреднение по пяти измерениям для каждого значения скорости потока, фильтрополотно белых и розовых масок («Барьерный риф» SB и «Masker's» SL соответственно) показывает значительный разброс, что свидетельствует о неоднородности материала.

Материалы черной («Masker's» NF) и обычной синей масок показывают практически идентичные значения сопротивления потоку, как видно

из малого разброса значений давления для каждой скорости потока.

Коэффициент, характеризующий наклон прямой зависимости давления от скорости потока, усреднен для каждого типа масок и представлен в табл. 1.

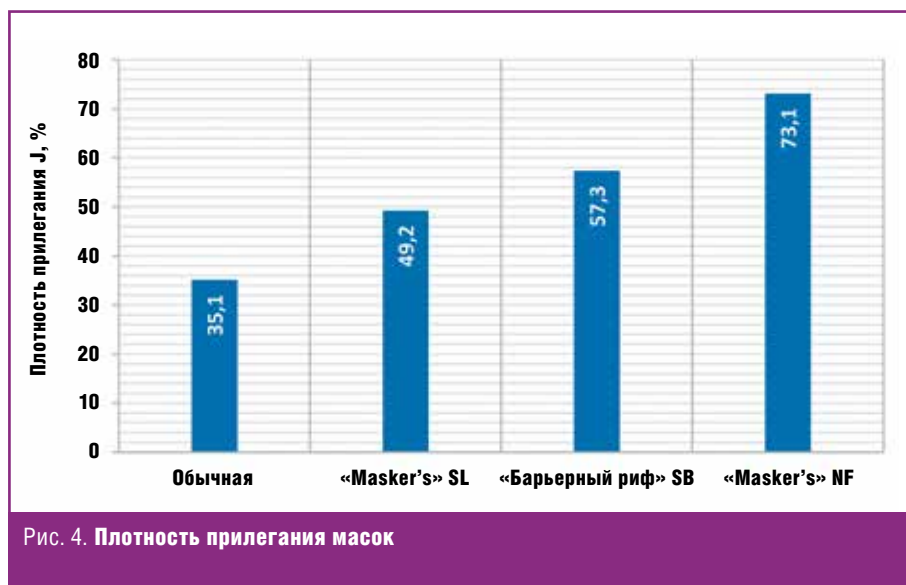
Как видно из таблицы, наименьшее сопротивление потоку воздуха оказывают обычные синие маски. Затем по возрастающей идут белые «Барьерный риф» SB, розовые «Masker's» SL и черные «Masker's» NF маски.

Проскок аэрозольных частиц с размерами в интервале 0,3–5,0 микрон и оценка фильтрующих качеств материалов масок

Как видно из представленных данных на рис. 2 и в табл. 2, черные анатомиче-

Таблица 3

Качество материала разных масок								
Маска ΔP, Па (при 1 см/сек)	Черная «Masker's» NF 17.3		Розовая «Masker's» SL 16.1		Белая «Барьерный риф» SB 14.2		Синяя обычная медицинская 11.5	
Размер частиц, мкм	Проскок, %	К	Проскок, %	К	Проскок, %	К	Проскок, %	К
0,3	0,70	0,12	77,61	0,007	86,61	0,004	89,12	0,004
0,5	0,27	0,15	55,22	0,017	69,52	0,011	82,74	0,007
1	0,07	0,18	17,77	0,046	29,73	0,037	55,86	0,022
2	0,04	0,20	12,13	0,057	19,57	0,05	43,35	0,032
3	0,03	0,20	12,99	0,055	19,84	0,05	40,93	0,034
5	0,00	–	9,00	0,065	15,51	0,057	28,11	0,048



частиц, отнесенной к падению давления при фиксированной скорости потока воздуха через материал. Удобно количественно характеризовать качество как отношение отрицательного логарифма степени проскока к падению давления при фиксированной скорости потока в соответствии с формулой (2).

Как видно из табл. 3, наивысшим фильтрующим качеством материала обладают черные анатомические маски «Masker's» в варианте исполнения NF, которые для частиц минимального размера (0,3 микрона) в 20–30 (!) раз превосходят обычные синие медицинские маски.

Для частиц размером 30 мкм (частицы ликоподия) разница в фильтрующих свойствах между масками не столь велика. В разных опытах масса осевшего на поверхности образца ликоподия варьировала от 1,2 до 32 мг. При этом количество прошедших через образцы частиц ликоподия составляло всего несколько частиц. Для каждого типа маски были проведено три независимых измерения. Результаты эксперимента суммированы в табл. 4.

ские маски «Masker's» NF обладают наименьшим проскоком для всех размеров аэрозольных частиц.

Проскок через материал обычных трехслойных синих масок — наибольший среди исследованных материалов.

Розовые анатомические маски «Masker's» SL и белые анатомические маски «Барьерный риф» SB немного уступают черным маскам «Masker's» NF,

но значительно превосходят обычные трехслойные синие маски.

Наиболее наглядно различия в эффективности фильтрования масок можно увидеть получив значения, обратные проскоку: эффективность фильтрации. Значения фильтрации показаны на рис. 3.

Качество фильтрующего материала определяется степенью проскока

Таблица 4

Результаты по прохождению крупных аэрозольных частиц 30 мкм через материал масок				
Маска	Белая «Барьерный риф» SB	Черная «Masker's» NF	Розовая «Masker's» SL	Синяя медицинская
Проскок частиц, %	0,0002	0,002	0,0006	0,006
Стандартное отклонение	0,0003	0,003	0,0007	0,004

Таблица 5

Плотность прилегания масок к лицу				
Маска	Синяя обычная	Розовая «Masker's» SL	Белая «Барьерный риф» SB	Черная «Masker's» NF
Плотность прилегания J, %	35,1	49,2	57,3	73,1
Стандартное отклонение	4,2	17,0	17,1	7,9
Плотность прилегания относительно синей		+40%	+63%	+108%

Как видно из таблицы, материал всех исследованных масок пропускает крайне малое количество частиц ликоподия, составляющее $(2-58) \times 10^{-6}$ от числа задержанных на материале.

Оценка плотности прилегания масок к лицу

В табл. 5 представлены данные по плотности прилегания масок к лицу, рассчитанные по падению давления на масках по методу, описанному выше по формуле (6). Видно, что наименьшую плотность прилегания к лицу имеют синие медицинские маски фирмы «Ньюфарм» (35%, две трети воздуха проходит мимо маски и не очищается), а наибольшую плотность прилегания (более 73%) имеют черные маски «Masker's» NF. Маски белая «Барьерный риф» SB и розовая «Masker's» SL немного уступают черной маске «Masker's» NF. Результаты отражены на рис. 4.

Из полученных данных следует, что при оценке эффективности масок большее значение имеют не только фильтрующие свойства материала, но и такой показатель, как прилегание к лицу.

Заключение

Сравнительное испытание защитных свойств протестированных медицин-

ских масок позволило сделать следующие выводы.

По количественному параметру качества материала (отношение логарифма проскока к сопротивлению потока) для аэрозольных частиц 0,3–5,0 мкм черная маска «Masker's» NF в 7–30 раз превосходит стандартную синюю медицинскую маску. Белые маски «Барьерный риф» SB и розовые маски «Masker's» SL в интервале аэрозольных частиц 0,3–5,0 мкм в 2–4 раза превосходят обычные синие. Для аэрозольных частиц 30 мкм статистически достоверного отличия в проскоке для всех четырех исследованных масок не обнаружено. Все они обладают очень малым проскоком.

Лучшее прилегание к лицу, а следовательно, и качество фильтрования (более 73%, что на 108% лучше обычной синей медицинской маски) имеют черные маски «Masker's» NF. Меньшее прилегание показали белые маски «Барьерный риф» SB и розовые маски «Masker's» SL, что на 63% и 40% соответственно лучше обычной синей медицинской маски.

Результаты сравнительных испытаний защитных свойств протестированных медицинских масок полностью под-

тверждают обоснованность скорейшего перехода на анатомические медицинские маски («Барьерный риф» SB, «Masker's» SL и «Masker's» NF) и дальнейшее их совершенствование. ■

Литература

1. Chen Y., Ebenstein A., Greenstone M., Li H. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy // PNAS. 2013. V. 110, № 32, p. 12936–12941.
2. Безуглая Э. Ю. и др. Аналитический обзор: качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет (1997–2007). СПб: ГУ «ГГО», Росгидромет, 2009.
3. Dalziel B. D. et al. Urbanization and humidity shape the intensity of influenza epidemics in U. S. cities // Science. 2018. V. 362, I. 6410, p. 75–79.
4. http://www.plantsystematics.org/imgs/robbin/r/Lycopodiaceae_Lycopodium_clavatum_15711.html.
5. Mikheev A. Y., Shlyapnikov Y. M., Kanev I. L., Avseenko A. V., Morozov V. N. Filtering and optical properties of free standing electrospun nanomats from nylon-4,6 // European Polymer Journal. 2016. 75, 317–328.
6. Eckhoff R. K. Dust Explosions in the Process Industries. Gulf Professional Publishing. 2003, 719 c.

«ЛЕЧАЩИЙ ВРАЧ» – МЕДИЦИНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОДОБРЕНО ВАК

Номера за 2017 год доступны для скачивания бесплатно

Подписывайся на бесплатный дайджест. Будь в курсе событий в медицине!

App Store Google play