

Оценка уровня биотического и абиотического загрязнения поверхностей с использованием принципа абсорбции света с целью санитарно-микробиологического контроля

О. В. Евдокимова^{*1}, В. В. Бирюков¹, Д. А. Рыбаков², Ю. А. Калинова²

¹ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава России, г. Рязань

² АО «Елатомский приборный завод», Рязанская область

Резюме

Актуальность. Окружающая среда, представленная многими компонентами, может оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Один из компонентов загрязнения воздуха – твердофазный аэрозоль при взаимодействии с капельным аэрозолем, выделяющимся со слизистой верхних дыхательных путей больного человека, образует дисперсные структуры с содержанием различных видов микроорганизмов. Пылевые фракции, являясь источником микроорганизмов с разнообразным фенотипом, могут стать полезным объектом мониторинга окружающей среды, проводимого с профилактическими целями. **Цель.** Определить возможность использования физического явления абсорбции света для обнаружения загрязнений и их количественной оценки на поверхностях из различных материалов и на объектах окружающей среды с неодинаковыми условиями использования. **Материалы и методы.** Проведено исследование поверхностей из различных материалов с естественной и искусственной контаминацией в закрытых помещениях образовательного учреждения с целью классификации уровня их биотического и абиотического загрязнения на основе анализа спектра поглощенного и отраженного излучений, регистрируемых фотодиодами опытного образца прибора. Внутренний контроль уровней биотического загрязнения исследуемых поверхностей проведен с использованием АТФ-люминометра и культурального метода. **Результаты и обсуждение.** На основе результатов экспериментальных исследований с использованием тест-системы «PROBER» предложена трехуровневая классификация загрязнений поверхностей в общественных местах: чистая, сомнительная и грязная с учетом показаний тест-системы, выраженных в единицах. Выявлены статистически достоверные различия показателей опытного образца при тестировании поверхностей с разным уровнем загрязнений ($p < 0.01$) и корреляция показаний тест-системы с контрольными измерениями уровней загрязнения поверхностей АТФ-люминометром ($\varphi^*_{\text{эмп}} = 1.281$). **Выводы.** Физические параметры, такие как спектры поглощенного и отраженного света и их различия, могут быть использованы для определения уровней пылевого загрязнения поверхностей с целью оценки безопасности окружающей среды для здоровья человека.

Ключевые слова: пыль, загрязнения, поверхности, абсорбция света, АТФ-люминометр, микроорганизмы

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Евдокимова О. В., Бирюков В. В., Рыбаков Д. А. и др. Оценка уровня биотического и абиотического загрязнения поверхностей с использованием принципа абсорбции света с целью санитарно-микробиологического контроля. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2022;21(2): 66–73. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2022-21-2-66-73>.

Evaluation of the Level of Biotic and Abiotic Contamination of Surfaces Using the Principle of Light Absorption for the Purpose of Sanitary and Microbiological Control

OV Evdokimova^{*1}, VV Biryukov¹, DA Rybakov², UA Kalinova²

¹ Ryazan State Medical University, Russia

² Joint-Stock Company «Yelatma Instrument Making Enterprise», Russia

Abstract

Relevance. The environment, represented by many components, can have an unfavorable influence on human health. One of the components of air pollution, a solid-phase aerosol, that interacting with a droplet aerosol released from the mucous membrane of the upper airway of a sick person, forms dispersed structures containing various species of microorganisms. Dust fractions, being a source of microorganisms with a diverse phenotype, can become a useful object of environmental monitoring carried out for

^{*} Для переписки: Евдокимова Ольга Валерьевна, к. м. н., доцент, заведующая кафедрой микробиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, 390000, г. Рязань, ул. Ленина (Астраханская), д. 22. +7 (4912) 97-19-22, olartemyeva@yandex.ru. ©Евдокимова О. В. и др.

^{**} For correspondence: Evdokimova Olga V., Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Microbiology, Ryazan State Medical University of the Ministry of Health of Russia, 22, st. Lenina (Astrakhanskaya), Ryazan, 390000, Russia. +7 (4912) 97-19-22, olartemyeva@yandex.ru. ©Evdokimova OV, et al.

preventive purposes. **Aims.** Determination of the possibility of use of the physical phenomenon of light absorption for detection of the pollutions and their quantification on surfaces made from various materials and on environmental objects with unequal conditions of use. **Materials and methods.** The surfaces of various materials with natural and artificial contamination in the closed rooms of an educational institution were studied in order to classify the level of their biotic and abiotic contamination based on the analysis of the spectrum of absorbed and reflected radiation registered by the photodiodes of the prototype device. Internal control of the levels of biotic contamination of the examined surfaces was carried out with use of ATP-luminometer and a cultural method. **Results.** The third level classification of the contaminations on the surfaces in public areas: clean, uncertain and dirty was developed on the results of experimental studies with use of «PROBER» test system, expressed in units. Statistically significant differences in the indicators of the test system were confirmed in the study of surfaces with different levels of contamination ($p < 0.01$) and the correlation of the test system indicators with control measurements of the levels of surface contamination by ATP-luminometer ($\varphi * \text{emp} = 1.281$) and a cultural method. **Conclusions.** Physical parameters such as the spectra of absorbed and reflected light and their differences can be used to determine the levels of dust contamination of surfaces in order to assess the safety of the environment for human health.

Keywords: dust, pollution, surfaces, light absorption, ATP-luminometer, microorganisms

No conflict of interest to declare.

For citation: Evdokimova OV, Biryukov VV, Rybakov DA, et al. Evaluation of the level of biotic and abiotic contamination of surfaces using the principle of light absorption for the purpose of sanitary and microbiological control. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2022;21(2): 66–73 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2022-21-2-66-73>.

Введение

Экологически чистая окружающая среда наряду с другими факторами является важной основой качества жизни человека. Представление о том, что многие компоненты внешней среды связаны с неблагоприятными последствиями для здоровья, существовало веками [1]. Пагубное влияние инфекционных агентов, ядов, химических веществ, лекарств, физических раздражителей подтверждено многочисленными эпидемиологическими и токсикологическими исследованиями [1,2]. Некоторые из очевидных факторов, оказывающих негативное влияние на человека, присутствуют в воздушном пространстве [1], загрязнение которого представляет собой сложную смесь, состоящую из неорганических и органических веществ, газов, паров и пыли [2,3]. Присутствующий в воздухе твердофазный аэрозоль и связанные с ним микроорганизмы могут распространяться на сотни и тысячи километров, изменяя окружающую среду [4]. Преобладающими видами в образцах окружающей среды являются *Proteobacteria*, на долю которых приходится от 30% до 65% бактериального сообщества [5]. Пыль, взаимодействуя с капельным аэрозолем, выделяющимся при чихании и кашле зараженных людей в закрытых пространствах, образует в окружающей среде дисперсные структуры, в которых может находиться до 9 тыс. различных видов микробов, в том числе и вирусы [6,7]. Вероятность выживания патогенов в таких структурах увеличивается кратно, так как пыль препятствует быстрому испарению влаги и разрушению нуклеиновых кислот микроорганизмов [1]. Атмосферные взвешенные твердые частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$, определяемые на гладких подоконниках, перилах и деревянных балках внутри помещений, содержат микроорганизмы с наиболее разнообразными генотипами устойчивости к антибиотикам, среди которых доминируют гены устойчивости к макролидам и аминогликозидам [5].

Пылевая фракция, содержащая омертвевший эпителий кожи, части волос, почву, шерсть, способна увеличивать активность микробоцидных механизмов фагоцитов [8] и инициировать развитие аллергии [9].

Поэтому пыль может быть актуальным объектом для микробиологического мониторинга при анализе причин возникновения и распространения бактериальных и вирусных заболеваний [9], и контроль чистоты поверхностей с использованием измеряющих устройств может являться одним из эффективных инструментов профилактических мероприятий, особенно в период эпидемического распространения различных возбудителей инфекционных заболеваний.

Материалы и методы

Для оценки уровней пылевого загрязнения проведено исследование различных поверхностей в образовательном учреждении с разной формой организации аудиторного времени с помощью тест-системы «PROBER» по ГИКС.203584.101ТУ производства АО «Елатомский приборный завод» (далее – «тест-система»). Принцип работы тестируемого измерительного устройства основан на анализе соотношения уровней поглощенного и отраженного излучений, регистрируемых фотодиодами от следов частиц на ленте тест-системы после взятия проб с поверхности. Пробы отбирали стерильной лентой тест-системы, упакованной в рулон и расположенной внутри корпуса устройства путем плотного прижатия ленты к исследуемой поверхности и выполнения 3–5 штрихообразных движений в одном направлении. Новая стерильная зона ленты в тест-системе устанавливается лентоприжимным механизмом после взятия пробы. Рабочая часть ленты площадью 0,5 см² отделена от «загрязненной», что исключает перекрестную контаминацию обеих зон.

Practical Aspects of Epidemiology and Vaccine Prevention

Измерительная шкала тест-системы градуирована в диапазоне от 0 до 100%, где 0 означает чистоту, а 100% – сильно загрязнённую поверхность и высокую вероятность присутствия болезнетворных микроорганизмов. Калибровка нулевого значения тест-системы произведена по показателю абсорбции стерильной тест-ленты, максимальное значение откалибровано по значению абсорбции эталона загрязненной области тест-ленты.

Для классификации уровней загрязнения с использованием тест-системы проведено исследование стерильных и условно чистых поверхностей из различных материалов, степени загрязнения различных поверхностей с разным способом и частотой использования в общественных местах. Образцы стекла, металла, пластика, деревянных поверхностей по физико-химическому составу соответствовали требованиям ГОСТ: стеклянная поверхность – чашки биологические ГОСТ 23932-90, металлическая поверхность – материал AISI304 ГОСТ 19904-74, ламинированная древесностружечная плита ГОСТ 21444-2016, пластиковая поверхность – поливинилхлорид ГОСТ 14332-78. Стерилизация ленты тест-системы и тестируемых поверхностей проводилась с использованием стандартных режимов паровой и сухожаровой стерилизации [10]. Определение микроорганизмов на тестируемых поверхностях проводили методом смыва с последующим культивированием при оптимальных условиях, изучением культуральных и морфологических свойств выделенных микроорганизмов в соответствии с нормативными документами [10,11]. Для определения уровня чувствительности тест-системы к обнаружению органического загрязнения различного происхождения проведено тестирование поверхностей,

искусственно загрязнённых белком в концентрации 0,6 г/л и штаммом *Staphylococcus aureus* 209.

В качестве контрольного измерительного устройства для определения на поверхности биотических загрязнений использовали люминометр System Sure Plus (производитель Hygiena, Великобритания), регистрирующий концентрацию энергетических молекул АТФ, находящихся во всех живых клетках, в том числе и микроорганизмах, и соответственно отражающих общее количество микроорганизмов на исследуемой поверхности. Единичные колониеобразующие единицы (КОЕ) на питательной среде эквивалентны одной световой единице RLU, которая соответствует 10–15 молекулам АТФ (1 фемтомол). Статистический анализ результатов исследования был проведен с помощью программы Statistica 6.0 с использованием параметрических и непараметрических критериев.

Результаты и обсуждения

При исследовании стерильных и условно чистых поверхностей из различных материалов с помощью тест-системы и АТФ-люминометра получены следующие результаты (табл. 1): оба измерительных устройства регистрировали разницу значений в диапазоне от 0 до 7 для стерильных и в диапазоне от 0 до 24% и 0 до 143 ед. для условно чистых поверхностей. Показания АТФ-люминометра от 0 до 3 ед. на стерильных поверхностях стекла, металла, пластика и дерева подтвердили отсутствие биологических загрязнений и соответствие параметрам чистоты, указанным в техническом паспорте измерительного устройства («чисто» – 0–10 ед., «сомнительно» – 11–29 ед., «грязно» – более 30 ед.). Соответствующий норматив чистой

Таблица 1. Значения параметров измерительных устройств, полученных со стерильных и условно чистых поверхностей из различных материалов
Table 1. Values of measuring device parameters obtained from sterile and conditionally clean surfaces of different materials

Измерительное устройство	Стекло Glass		Металл Metal		Пластик Plastic		Дерево Wood	
	Стерильная Sterile	Условно чистая Conditionally clean	Стерильная Sterile	Условно чистая Conditionally clean	Стерильная Sterile	Условно чистая Conditionally clean	Стерильная Sterile	Условно чистая Conditionally clean
Тест-система (%) Measuring device (%)	0:7:3	5:12:17	0:3:0	24:12:26	3:0:4	3:5:0	7:5:7	10:12:7
t-критерий Стьюдента Student t-test	(p < 0.01)							
АТФ-люминометр (ед.) ATP-Luminometer (unit)	0:1:0	0:9:1	1:2:1	31:99:42	2:2:3	3:7:3	0:1:1	101:143:127
t-критерий Стьюдента Student t-test	(p > 0.05)		(p < 0.01)		(p > 0.05)		(p < 0.01)	

Таблица 2. Результаты показаний устройств и микробиологического мониторинга при исследовании различных поверхностей

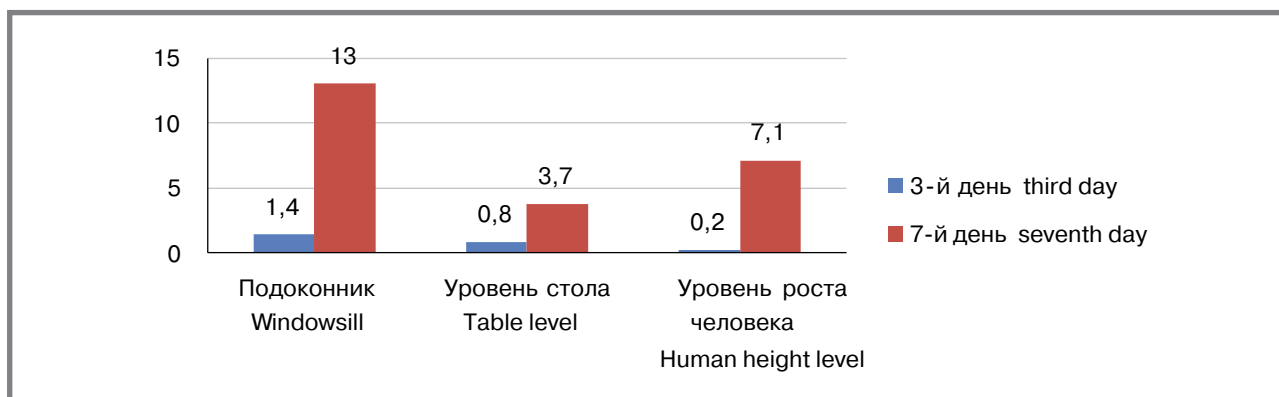
Table 2. Results of device indicators and microbiological monitoring in the study of various surfaces

Исследуемые поверхности Investigated surfaces	Тип материала поверхности Type surfacematerial	Тест-система, % Test-system, %			АТФ-люминометр, ед. ATP-luminometer, units.			ОМЧ (КОЕ) (таксон) TMN (CFU) (taxon)
1. Рабочий стол лаборантской /учебной комнаты/лекционного зала Lab/study/lecture room desk	пластик plastic	12	9	6	18	24	31	3 10 (<i>Bacillus</i> spp.) 2
2. Плинтус и пол около двери учебной комнаты Baseboard and floor near study room door	дерево wood	25	34	19	79	73	98	3 (<i>Penicillium</i> spp.) 3 4
3. Плинтус и пол под подоконником учебной комнаты Baseboard and floor under the window sill of the study room window	дерево wood	17	24	32	87	93	56	300 (<i>Penicillium</i> spp.) 18 100 (<i>Penicillium</i> spp.)
4. Выключатель Switcher	пластик plastic	5	3	5	57	45	71	Менее 1 2 1
5. Дверная ручка Doorknob	металл metal	5	0	7	95	26	74	18 Менее 1 25
6. Слив и кран раковины Sink drain and faucet	металл metal	44	61	52	640	720	693	46 58 70
7. Внутренняя поверхность шкафов Interior of cabinets	дерево wood	24	19	30	0	3	5	8 1 (<i>Bacillus</i> spp.) 1
8. Внутренняя поверхность холодильника Refrigerator interior	пластик lastic	0	0	0	1	1	5	1 Менее 1 Менее 1
9. Клавиатура рабочего компьютера Workcomputer keyboard	пластик plastic	14	10	15	129	201	156	Менее 1 Менее 1 Менее 1
10. Экран монитора компьютера Computer monitor screen	стекло glass	5	11	8	57	46	91	Менее 1 Менее 1 1 (<i>Mucor</i> spp.)
11. Стул учебной комнаты/ лекционного зала Studyroom/studychair lecture room	дерево wood	0	0	0	3	13	10	2 7 1

поверхности для всех материалов, определяемый тест-системой, находился в диапазоне от 0 до 7%. Выявлены статистически значимые различия средних значений показателей тест-системы – $3,25 \pm 2,83\%$ и $11,083 \pm 8,02\%$ ($p < 0.01$) при тестировании стерильных и условно чистых поверхностей соответственно. АТФ-люминометр для аналогичных поверхностей статистически значимые различия выявил только в отношении деревянных и металлических поверхностей: $0,83 \pm 0,75$ ед. и $90,5 \pm 45,08$ ед. ($p < 0.01$) соответственно. Следует отметить, что более высокие значения параметров, регистрируемых тест-системой и АТФ-люминометром при исследовании условно чистых деревянных и металлических поверхностей, могут быть связаны

с пористой структурой материалов и их неодинаковыми сорбционными свойствами.

Для оценки уровня пылевого загрязнения поверхностей (табл. 2) с помощью тест-системы разработана шкала пылевого загрязнения в баллах от 1 до 5 на основе прямой визуализации. Предложена следующая классификация: 1 – отсутствие видимых частиц на тестируемой поверхности, 2 – единичные видимые неорганические частицы, 3 – загрязнение поверхности образца менее 50% площади поверхности, скопления частиц пыли, 4 – загрязнение поверхности образца более 50%, неоднородный слой загрязнения, 5 – наличие однородного видимого слоя пыли/загрязнения. При выборе тестируемой поверхности учитывали

Рисунок 1. Значение параметров тест-системы при исследовании поверхностей с разным уровнем пылевого загрязнения**Figure 1. Indicator parameters of test-system in the study of surfaces with different levels of dust contamination**

следующие критерии: расстояние от пола, характер использования, наличие возможных внешних загрязнений; исследование уровня пылевого загрязнения проводили через сутки, 3 дня и неделю. В соответствии со шкалой пылевого загрязнения уровень всех исследуемых поверхностей через сутки оценен в 1 балл, при отсутствии показаний тест-системы (рис. 1). Уровень пылевого загрязнения в 2 и 3 балла определен через 7 дней для поверхностей, подвергающихся загрязнению твердыми частицами атмосферного воздуха и труднодоступных для рутинной влажной уборки. Средние значения показаний тест-системы для подоконников различных помещений составил $13,0 \pm 9,8\%$, для поверхностей на уровне роста человека – $7,1 \pm 2,9\%$.

Средние значения показаний тест-системы для уровней пылевого загрязнения, визуально определяемых в 2 и 3 балла, составили $4,3 \pm 2,3\%$ и $22,2 \pm 7,8\%$ соответственно.

Различия в уровне пылевого загрязнения, выявляемые тестируемым измерительным устройством, коррелировали с показаниями АТФ-люминометра. Скопление пылевых частиц через 7 дней на менее 50% площади поверхности определено контрольным измерительным устройством в диапазоне 53–94 ед., как соответствующее параметру «грязно». Единичные видимые неорганические частицы (уровень 2 шкалы пылевого загрязнения) определены АТФ-люминометром в диапазоне значений, характерных для параметра «чисто» (0–5 ед.). Таким образом, показания тест-системы выше 10% и показания АТФ-люминометра свыше 50 ед. позволяют отнести исследуемые поверхности к одному уровню загрязнения, что подтверждает корреляцию показателей тест-системы и АТФ-люминометра (при $\phi^*_{эмп} = 1,281$, отсутствие достоверных различий между процентными долями двух выборок).

Следует отметить, что экспозиция поверхности в экспериментальных условиях пылевого загрязнения в течение 7 дней не является достаточной для определения видимого уровня пылевого загрязнения на бумаге и стеклянных поверхностях. Для установления диапазона показаний тест-системы

проведено исследование поверхностей с наличием однородного видимого слоя пыли/загрязнения – «сильно загрязненная поверхность», соответствующего 5 баллам пылевого загрязнения. Показатели тест-системы – 49% для подоконника лекционного зала и 40% для поверхности в лаборантской на уровне роста человека соответствовали показаниям АТФ-люминометра в 483 ед. и 190 ед.

Увеличивающееся в последние годы количество разработок по созданию различных видов материалов и соединений существенно повышают в окружающей среде концентрацию не только известных соединений, но и новых, угрожающих окружающей среде и здоровью человека [6]. Проведение микробиологического мониторинга среды обитания человека прежде всего направлено на определение рисков передачи возбудителей инфекционных заболеваний через различные факторы окружающей среды.

В условиях медицинских учреждений биологическим индикатором возможного присутствия в воздухе патогенов с воздушно-капельным механизмом передачи являются стафилококки. В общественных местах в качестве индикаторов пылевого загрязнения могут быть микроорганизмы, выживающие в экстремальных условиях лимитированного содержания питательных веществ и свободной воды – спорообразующие бактерии и плесневые грибы.

Микробиологическое исследование различных поверхностей в данном исследовании – столов в учебных аудиториях и помещениях иного назначения, плintусов, полов, выключателей, дверных ручек, внутренних поверхностей бытовых приборов, мебели, комплектующих оргтехники – показало отсутствие стафилококков и других санитарно-показательных бактерий, что подтверждает отсутствие загрязнения данных объектов физиологическими выделениями человека.

Уровень микробной нагрузки исследуемых поверхностей (ОМЧ) зависел от: материала исследуемой поверхности; наличия оптимальных условий для сохранения жизнеспособности микробных клеток; доступности объекта для влажной уборки;

Таблица 3. Результаты исследования культуры микроорганизма

Table 3. Results study of the microorganism culture

Микроорганизмы Microorganisms (КОЕ)	Устройство измерения Investigated surfaces	Показания устройств при различной экспозиции Indications of devices at different exposures (24 hours)		
		15	30	45
<i>S. aureus</i> , (10 ⁶) (инактивированные клетки inactivated cells) ¹	Тест-система Test-system	7	0	0
		1	0	0
		9	0	1
	АТФ-люминометр ATP- luminometer	7	5	0
		8	7	2
		8	7	3
Микроорганизмы Microorganisms	Устройство измерения / Measuring device	Показания устройств при контаминации инокулятом и культурой, выращенной на питательных средах Indications of devices for contamination with inoculum and culture grown on nutrient media.		
		*	**	***
<i>S. aureus</i> , (10 ⁶) живые клетки living cells ²	Тест-система Test-system	24	10	79
		10	26	50
		18	17	60
	АТФ-люминометр /ATP- luminometer	306	2753	3726
		410	5132	2788
		373	2108	3024

Примечание: 1-клетки стафилококка на стекле; 2-клетки стафилококка в инокуляте и на питательной среде; *инактивированный инокулят штамма в физиологическом растворе хлорида натрия; **живая культура на питательном агаре; ***живая культура на хромогенном субстрате.
Note: 1-Staphylococcus aureus cells on glass; 2-Staphylococcus aureus cells in the inoculum and on nutrient medium; *inactivated strain in physiological sodium chloride solution; **live culture on nutrient agar; ***live culture on chromogenic substrate.

эксплуатации объекта и других видов воздействий и находился в диапазоне от менее 1 до 300 КОЕ. Максимальный уровень микробной нагрузки выявлен на плитке и поверхности пола под подоконником в условиях, при которых вероятность постоянного загрязнения данного объекта пылевыми частицами атмосферного воздуха остается высокой, а также во влажной среде объекта (в сливе и раковине) – 300 КОЕ *Penicillium* spp. и 70 КОЕ бактерий соответственно (табл. 2).

На диапазон показаний тест-системы в этой серии исследований влияли характеристики, включающие формирование видимого пылевого загрязнения на тестируемой поверхности, такие как способ и частота контакта с поверхностью (выключатель, дверная ручка), отсутствие условий для скопления пыли (внутренняя поверхность шкафов, холодильника). Средние значения показаний тест-системы от 0 до 10% (см. табл. 2). Исследуемые поверхности 1,4,5,8 и 10,11 соответствовали показаниям АТФ-люминометра, используемым для оценки поверхности объекта «грязно» с более высокими значениями световых единиц, в сравнении с результатами предыдущих исследований. Показания контрольных измерений от 8,7 ед. (поверхность № 8) до 65 ед. (поверхность № 5) при соответственно менее 1 КОЕ и 14 КОЕ на поверхности характеризуют

низкую чувствительность культурального метода исследования, не позволяющего выявлять присутствие на изучаемых поверхностях всех возможных биологических агентов, в том числе и вирусов с целью микробиологического мониторинга.

Возможное влияние на показания тест-системы белковых загрязнений и хромогенных субстратов изучено в экспериментах с искусственным нанесением на стерильные поверхности белка лошадиной сыворотки, инактивированной культуры стафилококка на стекло и 48-часовой культуры штамма, выросшей на питательном субстрате, содержащем и не содержащем хромогенные вещества. Нулевые значения обоих измерительных устройств на поверхностях, загрязненных белком, позволяют интерпретировать низкую чувствительность приборов в отношении химически чистых белковых загрязнений, которые в окружающей среде в чистом виде встречаются достаточно редко. Средние значения показателей тест-системы значительно увеличились с $17,3 \pm 4,3\%$ и $17,7 \pm 5,6\%$ до $63,0 \pm 10,6\%$, соответственно при тестировании живой культуры (на стекле и питательном агаре) и культуры на среде с хромогенным субстратом (табл. 3). Полученные данные позволяют предположить возможное влияние цвета субстрата на поглощение и отражение света, что может ограничивать

Таблица 4. Шкала соответствия количества микробных клеток (микробной нагрузки) диапазону значений контрольного измерительного устройства

Table 4. Scale of correspondence of the number of microbial cells (microbial load) to the value range of the control measuring device

Количество микробных клеток Number of microbial cells	Диапазоны значений АТФ-люминометра ATP-luminometer valueranges
150 000	более 500
15 000	301–500
15 00	101–300
150	31–100
15	11–30
1	0–10

Таблица 5. Классификация уровней загрязнений поверхностей с использованием тест-системы

Table 5. Classification of surface contamination levels with use of the test-system

Уровень загрязнения Contamination level	Показания тест-системы, % Test system indicators, %	АТФ-люминометр, ед. ATP-luminometer, units.
Чистая Pure	< 11	< 10
Сомнительно Uncertain	12–52	11–29
Грязно Dirty	> 53	> 30

применение тест-системы на окрашенных поверхностях, покрытие которых является неустойчивым.

Установленные в этом эксперименте значения тест-системы (более 10%) также соответствуют диапазону АТФ-люминометра, используемому для оценки наличия живых клеток на исследуемых поверхностях.

Показания АТФ-люминометра также зависели от количества жизнеспособных клеток и состава питательного субстрата. Максимальные значения показателей контрольного измерительного устройства – 5132 ед. и 3726 ед. выявлены при тестировании 48-часовой культуры, выросшей на поверхности питательного агар без и с хромогенным субстратом соответственно. Значения критерия t-Стьюдента для сравниваемых групп: инактивированные и живые бактерии ($p < 0.05$), живые бактерии на питательном агаре и хромогенном субстрате ($p > 0.05$) подтверждают различия в уровне биотического загрязнения, выявляемые АТФ-люминометром. Отсутствие достоверных различий в показаниях обоих измерительных устройств позволяет экстраполировать выводы, полученные при анализе результатов контрольного измерительного устройства на оценку работы тест-системы.

Таким образом, представленные результаты санитарно-микробиологических исследований различных поверхностей общественных мест указывают на неодинаковый уровень их загрязнения пылевой фракцией и микроорганизмами, что зависит от материала поверхности, способа и частоты контакта поверхностей

с человеком, доступности поверхности для удаления загрязнений. Образование пылевой фракции на различных поверхностях происходит в течение длительного времени, а кратковременный период (менее 7 дней) не всегда является достаточным для визуализации загрязнений путем их прямой детекции. К основным ограничениям применения тест-системы следует отнести отсутствие возможности дифференцировать жизнеспособные и нежизнеспособные микробные клетки на тестируемых поверхностях, низкую чувствительность к биологической контаминации при условии «видимого» пылевого загрязнения, чувствительность тест-системы к хромогенным субстратам.

На основании регламентированных данных производителя и руководства по эксплуатации АТФ-люминометра System Sure Plus (Hygiena, Великобритания) (табл. 4) и с учетом отсутствия статистических достоверных различий в показаниях обоих измерительных устройств при исследовании одинаковых поверхностей ($\phi^*_{эмп} = 1,281$), предложена классификация поверхностей по уровню загрязнения с помощью тест-системы на 3 группы: чистые, сомнительные и грязные (табл. 5).

Для определения биотических и абиотических факторов, загрязняющих окружающую среду, и исследования их комплексного воздействия на здоровье человека и экологию нужны совместные усилия ученых разных специальностей, позволяющие комплексно оценить сложные взаимодействия загрязнителей окружающей среды и их влияние на организм человека [4]. В настоящее время доступным для мониторинга загрязнений различных

объектов живыми микроорганизмами является культуральный метод, чувствительность которого ограничена определенным спектром возбудителей. Использование физических величин и явлений как измерительных инструментов значительно расширяет возможности профилактической медицины при проведении микробиологического мониторинга.

Заключение

Высокая чувствительность АТФ-люминометра по отношению к биологическому загрязнению

и корреляция показаний АТФ-люминометра с показаниями тест-системы в различных экспериментах позволяет использовать принцип абсорбции света для оценки уровней загрязнения различных поверхностей.

Предлагаемая классификация уровней загрязнений, подтвержденная результатами измерений тест-системы, может применяться в целях гигиенического мониторинга чистоты различных бытовых поверхностей для рутинных исследований, проводимых при оценке благополучия окружающей среды для здоровья человека в общественных местах.

Литература

1. Borchers A., Chang C., Keen C., et al. Airborne environmental injuries and human health. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*. 2006;31(1):1–10. doi: 10.1385/CRI-AL:31:1:1
2. Rohr A., Donald J. Health effects of carbon-containing particulate matter: Focus on sources and recent research program results. *Critical Reviews in Toxicology*. 2016;46(2):97–1377.
3. Beard S. Rhinitis Primary Care // *Clinics in Office Practice*. 2014;41(1):33–46. doi: org/10.1016/j.pop.2013.10.005.
4. Zhou Z.-C., Feng W., Zheng Y., et al. Prevalence and transmission of antibiotic resistance and microbiota between humans and water environments. *Environ. Int.* 2018;121:1155–1161.
5. Zhou Z.-C., Yang L., Shuai Z.-J., et al. Spread of antibiotic resistance genes and microbiota in airborne particulate matter, dust, and human airways in the urban hospital. *Environment International*. 2021;153. doi: org/10.1016/j.envint.2021.106501
6. Barberan A., Dunn R., Reich B., et al. The ecology of microscopic life in household dust. *Proc. R. Soc. B* 282: 20151139. 2022:1–9. doi: org/10.1098/rspb.2015.1139
7. Yilbas B., Hassan G., Yilbas A., et al. On the Mechanism of Human Saliva Interaction with Environmental Dust in Relation to Spreading of Viruses. *Langmuir*. 2021;37(15):4714–4726. doi:org/10.1021/acs.langmuir.1c00583
8. Aleksandrova A., Timofeeva S. The Study of Dust Nanoparticles and Their Impact on the Health of Mining Workers // *IOP. Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 2021;666(3):1–5. doi:10.1088/1755-1315/666/3/032030.
9. Renninger N., Nastasi N., Bope A., et al. Indoor dust as a matrix for surveillance of COVID-19 outbreaks // *medRxiv preprint* 2021 Apr 13;6(2):e01350-20. doi: 10.1128/mSystems.01350-20
10. Методические указания МУ-287-113 «По дезинфекции, предстерилизационной очистке и стерилизации изделий медицинского назначения».
11. СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных заболеваний».

References

1. Borchers A., Chang C., Keen C., et al. Airborne environmental injuries and human health. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*. 2006;31(1):1–10. doi: 10.1385/CRI-AL:31:1:1
2. Rohr A., Donald J. Health effects of carbon-containing particulate matter: Focus on sources and recent research program results. *Critical Reviews in Toxicology*. 2016;46(2):97–1377.
3. Beard S. Rhinitis Primary Care // *Clinics in Office Practice*. 2014;41(1):33–46. doi: org/10.1016/j.pop.2013.10.005.
4. Zhou Z.-C., Feng W., Zheng Y., et al. Prevalence and transmission of antibiotic resistance and microbiota between humans and water environments. *Environ. Int.* 2018;121:1155–1161.
5. Zhou Z.-C., Yang L., Shuai Z.-J., et al. Spread of antibiotic resistance genes and microbiota in airborne particulate matter, dust, and human airways in the urban hospital. *Environment International*. 2021;153. doi: org/10.1016/j.envint.2021.106501
6. Barberan A., Dunn R., Reich B., et al. The ecology of microscopic life in household dust. *Proc. R. Soc. B* 282: 20151139. 2022:1–9. doi: org/10.1098/rspb.2015.1139
7. Yilbas B., Hassan G., Yilbas A., et al. On the Mechanism of Human Saliva Interaction with Environmental Dust in Relation to Spreading of Viruses. *Langmuir*. 2021;37(15):4714–4726. doi:org/10.1021/acs.langmuir.1c00583
8. Aleksandrova A., Timofeeva S. The Study of Dust Nanoparticles and Their Impact on the Health of Mining Workers // *IOP. Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 2021;666(3):1–5. doi:10.1088/1755-1315/666/3/032030.
9. Renninger N., Nastasi N., Bope A., et al. Indoor dust as a matrix for surveillance of COVID-19 outbreaks // *medRxiv preprint* 2021 Apr 13;6(2):e01350-20. doi: 10.1128/mSystems.01350-20
10. Guidelines MU-287-113 «On disinfection, pre-sterilization cleaning and sterilization of medical devices» (In Russ.).
11. SanPiN 3.3686-21 «Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases» (In Russ.)

Об авторах

- **Ольга Валерьевна Евдокимова** – к. м. н., доцент, заведующая кафедрой микробиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. +7 (4912) 97-19-22, olartemyeva@yandex.ru. ORCIDID: 0000-0002-5035-7302.
- **Владимир Валентинович Бирюков** – доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. +7 (4912) 97-19-22, birukovvi@rambler.ru. ORCIDID: 0000-0003-2704-5893.
- **Дмитрий Алексеевич Рыбаков** – руководитель отдела научных и клинических исследований Филиала Научно-технического центра АО «Елатомский приборный завод». +7 (920) 965 17 40, mitya.ribakov@yandex.ru. ORCIDID: 0000-0001-6800-1665.
- **Юлия Александровна Калинова** – ведущий специалист по клиническим исследованиям Филиала Научно-технического центра АО «Елатомский приборный завод». +7 (920) 981 11 89, calinowa2010@yandex.ru. SPIN: 3961-5593, ORCID ID: 0000-0001-6774-7000.

Поступила: 07.04.2022. Принята к печати: 21.04.2022.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Olga V. Evdokimova** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Microbiology Ryazan State Medical University of the Ministry of Health of Russia. +7 (4912) 97-19-22, olartemyeva@yandex.ru. ORCIDID: 0000-0002-5035-7302.
- **Vladimir V. Biryukov** – Associate Professor, Department of Microbiology Ryazan State Medical University of the Ministry of Health of Russia. +7 (4912) 97-19-22, birukovvi@rambler.ru. ORCIDID: 0000-0003-2704-5893.
- **Dmitriy A. Rybakov** – Joint-Stock Company «Yelatma Instrument Making Enterprise». +7 (920) 965 17 40, mitya.ribakov@yandex.ru. ORCIDID: 0000-0001-6800-1665.
- **Yulia A. Kalinova** – Joint-Stock Company «Yelatma Instrument Making Enterprise». +7 (920) 981 11 89, calinowa2010@yandex.ru. SPIN: 3961-5593, ORCID ID: 0000-0001-6774-7000.

Received: 07.04.2022. Accepted: 21.04.2022.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.