

УДК 613.5:613.15]:621.327
EDN: JRKFXH
<https://doi.org/10.15275/ssmj1904382>

Оригинальная статья

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛУЧАТЕЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СВЕТОДИОДНОГО ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ

Н. И. Миклис, И. И. Бурак, Н. В. Железняк

УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», Витебск, Республика Беларусь

HYGIENIC CHARACTERISTIC OF THE UV LED IRRADITATOR FOR THE DISINFECTING SURFACES AND INDOOR AIR

N. I. Miklis, I. I. Burak, N. V. Zheleznyak

Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus

Для цитирования: *Миклис Н.И., Бурак И.И., Железняк Н.В.* Гигиеническая характеристика облучателя ультрафиолетового светодиодного для обеззараживания поверхностей и воздуха помещений. Саратовский научно-медицинский журнал. 2023; 19 (4): 382–389. EDN: JRKFXH. DOI: <https://doi.org/10.15275/ssmj1904382>

Аннотация. *Цель:* гигиеническая оценка бактерицидных характеристик и эффективности обеззараживания поверхностей и воздуха помещений облучателем бактерицидным ультрафиолетовым светодиодным (ОБУ-С). *Материал и методы.* Исследования выполнены в научных лабораториях в условиях, приближенных к естественным, гигиеническими, физическими и микробиологическими методами в соответствии со стандартными современными методиками. В ходе работы производили сравнение прибора ОБУ-С со стандартом. В качестве стандарта использован серийный открытый облучатель бактерицидный ультрафиолетовый ртутный производства ОАО «Витязь» ОБУ-15-21П (ОБУ-Р). *Результаты.* ОБУ-С характеризуется гигиенической и экологической безопасностью при использовании, более низкой потребляемой мощностью, мощностью ультрафиолетового излучения, суммарным бактерицидным потоком, поверхностной и объемной плотностью бактерицидного потока и бактерицидной энергии в 2,5–5,6 раза, рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в спектре С меньше в 4,4–5,5 раза, в спектре В — больше в 5,8–9,3 раза по сравнению с ОБУ-Р. ОБУ-С при обеззараживании контаминированной тест-культурой *Escherichia coli* поверхности подавляет ее рост в среднем на 96,4±0,8%, *Staphylococcus aureus* — на 96,4±0,9%, контаминированного *S. aureus* воздуха — на 99±0,3% по сравнению с контролем. *Заключение.* ОБУ-С с гигиенически безопасными бактерицидными характеристиками эффективно обеззараживает воздух и поверхности.

Ключевые слова: облучатель, светодиоды, обеззараживание, гигиеническая безопасность, профилактика инфекций

For citation: *Miklis NI, Burak II, Zheleznyak NV.* Hygienic characteristic of the UV led irradiator for the disinfecting surfaces and indoor air. *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2023; 19 (4): 382–389. EDN: JRKFXH. DOI: <https://doi.org/10.15275/ssmj1904382> (In Russ.)

Abstract. *Objective:* to assess from the hygienic point of view the bactericidal characteristics and effectiveness of disinfection of surfaces and indoor air with the developed bactericidal ultraviolet LED irradiator (BUI-L). *Material and methods.* The studies were carried out in scientific laboratories in conditions close to natural, by usage of standard modern hygienic, physical and microbiological methods. *Results.* The BUI-L is characterized by hygienic and environmental safety at usage, lower power consumption, ultraviolet radiation power, total biocidal flux, surface and volume density of biocidal flux and biocidal energy by 2.5–5.6 times, operating energy illumination and energy exposure in spectrum C is less in 4.4–5.5 times, in spectrum B — more in 5.8–9.3 times in comparison with the standard bactericidal ultraviolet mercury irradiator. BUI-L during disinfection of the surface contaminated with the *Escherichia coli* test culture inhibits its growth on 98.2%, *Staphylococcus aureus* — on 96.4%, air contaminated with *S. aureus* — 98.8% respectively, in comparison with the control. *Conclusion.* The irradiator meets the regulatory hygienic requirements and can be recommended for disinfecting air and surfaces during sanitary and anti-epidemic measures to prevent infectious diseases, including health care associated infections in healthcare organizations.

Keywords: irradiator, LED, disinfection, hygiene safety, infection prevention

Введение. Ультрафиолетовое излучение (УФИ) является оптической частью солнечного спектра с длиной волны 400–100 нм. Оно делится на близкое по свойствам к видимому свету длинноволновое мягкое — УФА (400–315 нм), средневолновое средней жесткости — УФВ (315–280 нм) и коротковолновое жесткое — УФС (280–100 нм). Следует отметить, что УФИ оказывает многообразное действие на человека. Вследствие малой проникающей способности оно воздействует только на эпидермис, видимые слизистые оболочки и ткани глаза, являющиеся вместе с иммунной системой критическими органами-мишенями. УФИ способствует образованию витамина *D*, увеличению неспецифической резистентности человека, но вместе с тем может вызывать ожоги кожи и слизистых, заболевания глаз, канцерогенный, мутагенный и другие эффекты [1–3].

В борьбе с инфекционными заболеваниями, в том числе инфекциями, связанными с оказанием медицинской помощи, важное значение отводится обеззараживанию воздушной среды и поверхностей коротковолновому жесткому и средневолновому средней жесткости УФИ в диапазоне 205–315 нм, которое обладает бактерицидным действием и обозначается как бактерицидное ультрафиолетовое излучение (БУИ). Оно характеризуется мощностью, поверхностной и объемной плотностью, поверхностной и объемной энергией, а также бактерицидной эффективностью. Степень инактивации микроорганизмов и бактерицидная эффективность БУИ пропорциональна энергии и экспозиции излучения, определяется бактерицидной дозой и зависит от вида микрофлоры [4, 5].

Бактерицидное действие УФИ обусловлено в основном фотохимическими повреждениями молекул ДНК и РНК микроорганизмов, приводящими к гибели микробной клетки в первом или последующем поколениях. Помимо бактерицидного, УФИ оказывает вирули-, фунги- и спороцидное действия. Более чувствительны к воздействию УФИ вирусы и бактерии в вегетативной форме, менее чувствительны — грибы и простейшие, наиболее устойчивые — споровые формы.

Для обеззараживания воздуха в помещениях используются открытые, закрытые и комбинированные ультрафиолетовые бактерицидные облучатели, содержащие одну или несколько бактерицидных ламп, пускорегулирующий аппарат, отражательную арматуру, крепежные и сетевые детали, элементы подавления помех. В качестве источников БУИ в облучателях используют ксеноновые, амальгамные и ртутные лампы. Ксеноновые лампы, содержащие ксенон, создают интенсивное УФИ, однако имеют короткий срок эксплуатации и для работы требуют дополнительного оборудования. Амальгамные лампы с колбами, покрытыми изнутри пленкой из сплава ртути, индия и висмута, характеризуются высокой мощностью, имеют самый долгий срок службы из всех бактерицидных и используются в основном для обеззараживания воды. Разрядные ртутные лампы высокого давления при большой мощности обладают низкой бактерицидной отдачей и малым сроком службы. Разрядные ртутные лампы низкого давления более 60% УФИ создают на волне 254 нм с максимальным

бактерицидным действием и являются стандартом, с которым сравниваются все другие источники [6, 7].

Бактерицидные лампы с УФИ с длиной волны менее 200 нм, выходящим за пределы колбы, генерируют озон в воздушной среде помещений и относятся к озонным. У безозонных ламп выход излучения менее 200 нм отсутствует за счет конструкции колбы или применения специального задерживающего излучение материала и озон в воздухе не образуется.

В организациях здравоохранения предпочтение отдается облучателям с разрядными ртутными лампами низкого давления безозонными, которые создают УФИ на длине волны 205–280 нм и практически не образуют озон. В настоящее время широкое применение для обеззараживания поверхностей и воздуха в больницах и поликлиниках находят серийный открытый бактерицидный облучатель ОБУ-15-21П производства ОАО «Витязь» потребляемой мощностью 90 Вт. Он состоит из корпуса с отражателем, прикрепленных к нему источников УФИ — двух бактерицидных ртутных безозоновых ламп низкого давления мощностью по 15 Вт и пускорегулирующего аппарата с дросселем и стартером. Колбы ламп в форме цилиндрических трубок из увиолевого стекла заполнены аргоном с дозированным количеством ртути, в оба конца ламп впаяны по два электрода из тонкой вольфрамовой проволоки. После включения в сеть необходимый режим зажигания и горения ртутных бактерицидных ламп обеспечивается пускорегулирующим аппаратом через несколько секунд. УФИ с суммарным бактерицидным потоком 7 Вт возникает за счет тлеющего разряда в ртутных парах низкого давления с максимумом на длине волны 254 нм [8].

Сегодня для получения БУИ также используются ультрафиолетовые светодиоды с короткой и средней длиной волны. Однако стоимость бактерицидного модуля на светодиодах для дезинфекции больших площадей очень высока, по сравнению со ртутной лампой низкого давления, и на практике применяются компактные устройства для дезинфекции небольших поверхностей и оборудования. Так, для обеззараживания поверхностей площадью до 20 см², в том числе настенных, применяется устройство с УФ-светодиодом с максимумом излучения на длине волны 275±10 нм и мощностью 70 мВт [9]. Для обработки воздуха вверху помещения в присутствии людей, обеззараживания поверхностей диаметром 30 см и воздуха в закрытых бактерицидных установках применяется бактерицидный ультрафиолетовый светодиодный облучатель (ОБУ-С) с УФ-светодиодом мощностью 50–100 мВт на длине волны 280 нм [10].

Для обеззараживания воздуха и поверхностей предложен открытый облучатель бактерицидный ультрафиолетовый светодиодный, создающий направленное в рабочую зону ультрафиолетовое излучение с суммарным бактерицидным потоком 1,25 Вт преимущественно диапазонов *C* и *B* с максимумом на длине волны 270±25 нм [11]. Однако поверхностная и объемная плотности бактерицидного излучения и бактерицидной энергии, а также бактерицидная эффективность разработанного облучателя окончательно не изучены.

Цель — гигиеническая оценка бактерицидных характеристик и эффективности обеззараживания поверхностей и воздуха помещений облучателем бактерицидным ультрафиолетовым светодиодным.

Материал и методы. Исследования выполнены в рамках научно-исследовательской работы

Ответственный автор — Наталья Ивановна Миклис
Corresponding author — Natalia I. Miklis
Тел.: +3 (75212) 645033
E-mail: miklisnatalia@gmail.com

«Разработка и совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики инфекционных болезней человека» №ГР 20191502 на кафедрах экологической и профилактической медицины и клинической микробиологии учреждения образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет».

Для проведения исследований применяли открытый ОБУ-С. В качестве стандарта использован серийный открытый облучатель бактерицидный ультрафиолетовый ртутный производства ОАО «Витязь» ОБУ-15-21П (ОБУ-Р).

Выполнено 4 серии опытов, опыты дублировали. В 1-й серии изучали показатели гигиенической безопасности — создаваемую поверхностную ($ПП_{\text{бн}}$) и объемную плотности ($ОП_{\text{бн}}$) бактерицидного потока, поверхностную ($ПП_{\text{бс}}$) и объемную плотности ($ОП_{\text{бс}}$) бактерицидной энергии, а также определяли энергетическую освещенность и энергетическую экспозицию УФ-спектров B и C УФ-радиометром со ослабляющим фильтром «ТКА-ПКМ» в сравнении со стандартным ОБУ-Р [12, 13].

Во 2-й серии давали гигиеническую оценку бактерицидной активности ОБУ-С с создаваемой рабочей энергетической освещенностью в спектре C 161 мВт/м² и спектре B 248 мВт/м² и энергетической экспозицией в спектре C 9,7 Дж/м² и спектре B 14,5 Дж/м² при обеззараживании чашек Петри с тест-штаммами *Escherichia coli* ATCC 25922 и *Staphylococcus aureus* ATCC 25923.

Предварительно оценивали эффективность работы ОБУ-С микробиологическим методом при облучении в течение 15 мин с расстояния 1 м культуры кишечной палочки, содержащей 10⁹ КОЕ/см³, на чашке Петри с питательной средой Эндо, прикрыв одну половину чашки Петри листом черной бумаги. После облучения чашку инкубировали в термостате при температуре 37°C в течение 24 ч и определяли рост бактерий на облученной и затененной половинах чашки Петри. В дальнейшем определяли бактерицидную эффективность ОБУ-С при облучении 1 см³ взвеси тест-штаммов кишечной палочки и золотистого стафилококка на чашках Петри с питательной средой, содержащих 200–300 КОЕ, с расстояния 1 м в течение 5; 10 и 15 мин на одной половине чашки Петри. После облучения чашки помещали в термостат при температуре 37°C на 24 ч, затем производили подсчет выросших колоний на облученных и необлученных половинах [5].

В 3-й серии давали гигиеническую оценку бактерицидной активности ОБУ-С с создаваемой рабочей энергетической освещенностью в спектре C 161 мВт/м² и спектре B 248 мВт/м² и энергетической экспозицией в спектре C 9,7 Дж/м² и спектре B 14,5 Дж/м² при обеззараживании поверхностей в условиях, приближенных к естественным. Для этого с расстояния 1 м в течение 2; 5; 10 или 15 мин облучали 10⁸ КОЕ тест-культур кишечной палочки и золотистого стафилококка на керамической плитке площадью 900 см² в квадраты размером 3×3 см и подсушенных в течение 90 мин. С облученных поверхностей брали смывы, помещали в пробирку, отмывали, 1 см³ засеивали на чашки с плотной питательной средой. Пробирки и чашки помещали в термостат при температуре 37°C на 24 ч. После инкубации в пробирках отмечали помутнение, на чашках подсчитывали количество выросших колоний. В контроле тест-культуры не облучали [5, 13]. Для сравнения культуры тест-штаммов кишечной палочки и золотистого

стафилококка облучали ОБУ-Р с создаваемой рабочей энергетической освещенностью в спектре C 780 мВт/м² и спектре B 32,8 мВт/м² и энергетической экспозицией в спектре C 53 Дж/м² и спектре B 1,89 Дж/м² с расстояния 1 м при указанных выше экспозициях.

В 4-й серии давали гигиеническую оценку бактерицидной активности ОБУ-С, создающего рабочую энергетическую освещенность на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре C 750; 161 и 71,8 мВт/м² и спектре B 875; 248 и 115 мВт/м² и энергетическую экспозицию на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре C 45; 9,7 и 4,3 Дж/м² и спектре B 52; 14,5 и 6,7 Дж/м² соответственно при обеззараживании воздуха помещений. Для этого в течение 15 мин облучали воздух в объеме 25 м³, загрязненный тест-культурой *S. aureus* ATCC 25923, содержащей 188–199 КОЕ/м³. Количество стафилококков в воздухе до облучения и после облучения определяли на расстоянии 1,6 м аспирационным методом [14] с помощью аппарата Кротова.

Для сравнения загрязненный тест-культурой золотистого стафилококка воздух облучали ОБУ-Р с создаваемой рабочей энергетической освещенностью на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре C 4070; 780 и 325 мВт/м² и спектре B 152; 32,8 и 12,4 мВт/м² и энергетической экспозицией в спектре C 206; 53 и 19,1 Дж/м² и спектре B 8,2; 1,9 и 0,8 Дж/м² при тех же условиях.

Полученные результаты исследования обрабатывали с использованием параметрических методов статистического анализа (после предварительной проверки на нормальность распределения) пакетом прикладных программ Statistica, Excel, значимость различий средних значений оценивали по коэффициенту Стьюдента (t), достоверность сдвигов учитывали при $p \leq 0,05$. Данные представлены в виде $M \pm m$, где M — среднее значение, m — стандартная ошибка среднего значения.

Результаты. Результаты 1-й серии опытов показали, что стандартный ОБУ-Р создавал $ПП_{\text{бн}}$ 7 Вт/м² и $ПП_{\text{бс}}$ 7 Дж/м², $ОП_{\text{бн}}$ 0,3 Вт/м³ и $ОП_{\text{бс}}$ 0,3 Дж/м³. На расстоянии 0,4 м у ОБУ-Р энергетическая освещенность была в спектре C 4076,7±37,1, в спектре B — 152±4,2 мВт/м², на расстоянии 1 м — 780±17,3, 32,8±0,7 мВт/м², на расстоянии 1,6 м — 326,7±6,1, 12,4±0,6 мВт/м² соответственно. Энергетическая экспозиция на расстоянии 0,4 м отмечалась в спектре C 206±4,3, в спектре B — 8,2±0,2, на расстоянии 1 м — 53±3,2, 1,9±0,1, на расстоянии 1,6 м — 19,2±0,6, 0,786±0,02 Дж/м² соответственно (рис. 1, 2).

ОБУ-С создавал $ПП_{\text{бн}}$ 1,3 Вт/м² и $ПП_{\text{бс}}$ 1,3 Дж/м², $ОП_{\text{бн}}$ 0,1 Вт/м³ и $ОП_{\text{бс}}$ 0,1 Дж/м³. На расстоянии 0,4 м создаваемая ОБУ-С энергетическая освещенность в спектре C была 751,3±8,7, в спектре B — 874±10,7, на расстоянии 1 м — 161±4,9, 248±7 Вт/м², на расстоянии 1,6 м — 72±1,3, 115±4,7 мВт/м² соответственно. Энергетическая экспозиция на расстоянии 0,4 м в спектре C составила 45,6±2, в спектре B — 52±3,2, на расстоянии 1 м — 9,7±0,3, 14,5±0,8 на расстоянии 1,6 м — 4,3±0,2, 6,7±0,2 Дж/м² соответственно (рис. 1, 2).

Результаты 2-й серии опытов показали, что облучение суточной агаровой тест-культуры кишечной палочки на чашке Петри ОБУ-С, а также стандартным ОБУ-Р с создаваемыми рабочими энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в предварительном исследовании с расстояния 1 м в течение 15 мин обусловило задержку роста микроба на облученной половине на 100% по сравнению

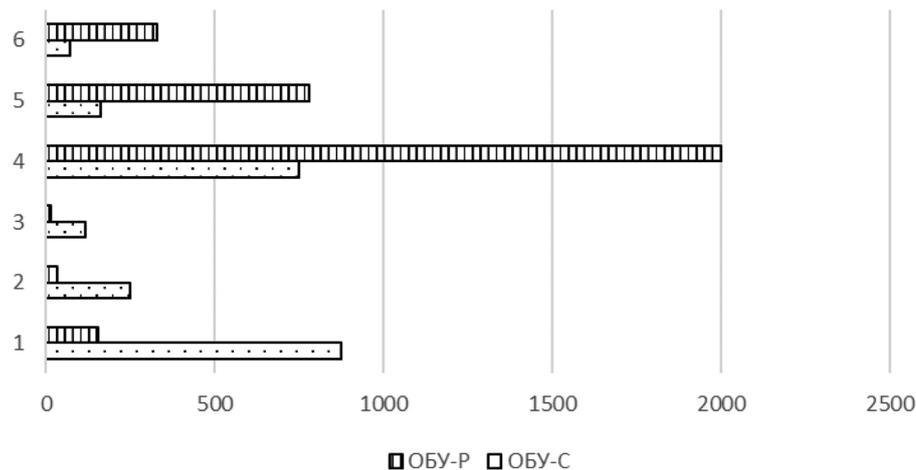


Рис. 1. Энергетическая освещенность (E_e , мВт/м²) ОБУ-С и ОБУ-Р: 1–3 — в спектре В на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м соответственно; 4–6 — в спектре С на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м соответственно

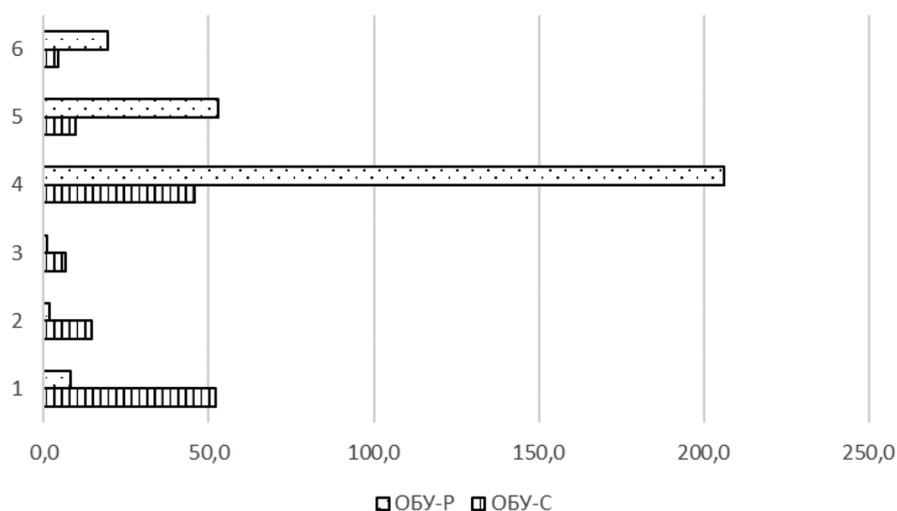


Рис. 2. Энергетическая экспозиция (H_e , Дж/м²) ОБУ-С и ОБУ-Р: 1–3 — в спектре В на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м соответственно; 4–6 — в спектре С на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м соответственно

Таблица 1

Гигиеническая оценка бактерицидной активности облучателей ОБУ-С и ОБУ-Р в отношении стандартных тест-культур, КОЕ/см³ ($x \pm m$)

Облучатель	Испытание	<i>E. coli</i>			<i>S. aureus</i>		
		экспозиция, мин			экспозиция, мин		
		5	10	15	5	10	15
ОБУ-С	Опыт	3,3±0,3	2,3±0,3	0,7±0,3	5,7±0,3	2,3±0,3	0
	Контроль	106,3±7,8	106,3±10,4	155,7±8,8	109±8,6	105,3±6,5	131,7±7,3
ОБУ-Р	Опыт	1,3±0,3	0	0	0,7±0,3	0	0
	Контроль	105,3±7,5	124,3±12,1	139,3±5,2	108±10,4	117,7±5,8	120±5,1

с необлученной затененной, на которой отмечался сплошной рост.

Облучение ОБУ-С с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией суточной тест-культуры *E. coli* на чашке Петри с питательной средой с расстояния 1 м в течение 5 мин привело к задержке роста микроба на 96,8%, в течение 10 мин — на 98,1%, в течение 15 мин — на 99,6%

соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$), суточной тест-культуры *S. aureus* — к задержке роста микроба на 94,7; 97,8 и 100% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) (табл. 1). При облучении стандартным ОБУ-Р с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией суточной тест-культуры *E. coli* на питательной среде с расстояния 1 м в течение 5 мин отмечалась

Гигиеническая оценка бактерицидной активности облучателя ОБУ-С в отношении стандартных тест-культур в условиях, приближенных к естественным, КОЕ/см³ ($x \pm m$)

Экспозиция, мин	Испытание	<i>E. coli</i>			<i>S. aureus</i>		
		КОЕ/см ³	Ig	RF, Ig	КОЕ/см ³	Ig	RF, Ig
15	Опыт	26666±3333	4,4	2,2	56666±3333	4,8	1,8
	Контроль	3550000±173205	6,6	—	4533333±2939	6,6	—
10	Опыт	60000±5773	4,8	1,8	86666±12018	4,9	1,7
	Контроль	3633333±187823	6,6	—	4050000±9094	6,6	—
5	Опыт	80000±5773	4,9	1,7	123333±12018	5,1	1,5
	Контроль	3666666±231540	6,6	—	4166667±9094	6,6	—
2	Опыт	103333±8819	5,0	1,6	243333±8819	5,4	1,2
	Контроль	3616666±248886	6,6	—	4150000±8678	6,6	—

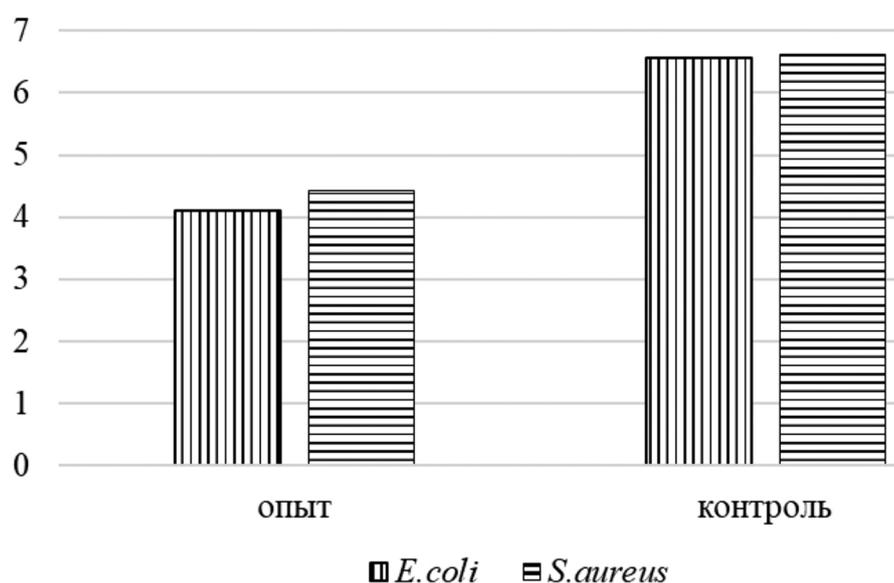


Рис. 3. Lg *E. coli* и *S. aureus* (КОЕ/см³) в опыте и контроле

задержка роста микроба на 99,8%, в течение 10 мин — на 100%, в течение 15 мин — на 100%, суточной тест-культуры *S. aureus* — на 99,47; 100 и 100% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) (табл. 1).

Результаты 3-й серии опытов показали, что в условиях, приближенных к естественным, ОБУ-С с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией при облучении загрязненных кишечной палочкой поверхностей с расстояния 1 м в течение 15 мин обусловил подавление роста *E. coli* на 99,2%, в течение 10 мин — на 98,3%, в течение 5 мин — на 97,8%, в течение 2 мин — на 97,1%, загрязненных золотистым стафилококком — к подавлению роста *S. aureus* на 98,7; 97,8; 97 и 94,1% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) (табл. 2).

При облучении загрязненных кишечной палочкой поверхностей с расстояния 1 м в течение 15 мин стандартным ОБУ-Р с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в контроле выросло 3600000±180277, в опыте 13333±3333 КОЕ/см³, золотистым

стафилококком — 4083333±372305 и 26666±3333 КОЕ/см³ в контроле и опыте соответственно. Таким образом, ОБУ-Р привел к задержке роста *E. coli* на 99,6%, *S. aureus* — на 99,4% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) (рис. 3).

При облучении загрязненных кишечной палочкой поверхностей с расстояния 1 м в течение 2; 5; 10 и 15 мин ОБУ-С обусловил подавление роста микроба с фактором редукции (RF) 1,6–2,2 lg, загрязненных золотистым стафилококком — с RF 1,2–1,8 lg соответственно по сравнению с контролем (табл. 3). Стандартный ОБУ-Р при облучении в течение 15 мин загрязненных кишечной палочкой и золотистым стафилококком поверхностей подавил их рост с фактором редукции 2,5 и 2,2 lg соответственно по сравнению с контролем (рис. 3).

Результаты 4-й серии показали, что при облучении ОБУ-С с создаваемой рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в течение 15 мин загрязненного 188±11,7 КОЕ/м³ тест-культурой золотистого стафилококка воздуха в объеме 25 м³ выжило 2,3±0,3 КОЕ/м³ *S. aureus*. При облучении стандартным ОБУ-Р с энергетической

освещенностью на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре С 4070, 780 и 325 мВт/м² и спектре В 152; 32,8 и 12,4 мВт/м² и энергетической экспозицией в спектре С 206; 53 и 19,1 Дж/м² и спектре В 8,2; 1,9 и 0,8 Дж/м² при тех же условиях выжило 1,3±0,3 КОЕ/м³ *S. aureus* из 211,7±20,3 КОЕ/м³, загрязняющих воздух.

Обсуждение. Результаты исследования бактерицидных параметров исследованных облучателей позволяют заключить, что ОБУ-С для обеззараживания воздуха и поверхностей характеризуется высокой механической прочностью, отсутствием инерционности при включении, гигиенической и экологической безопасностью при использовании из-за отсутствия ртути и озона, в отличие от облучателя бактерицидного ультрафиолетового ОБУ-15-21П с ртутными лампами.

У ОБУ-С ниже в 3,2 раза потребляемая мощность, в 2,5 раза — мощность ультрафиолетового излучения и в 5,6 раза — суммарный бактерицидный поток по сравнению со стандартным ОБУ-Р. Генерируемые поверхностная и объемная плотность бактерицидного потока, а также поверхностная и объемная плотность бактерицидной энергии у ОБУ-С в 5,6 раза меньше создаваемых ОБУ-Р.

ОБУ-С создает рабочую энергетическую освещенность на расстоянии 0,4 м в спектре С меньше в 5,4 раза, в спектре В — больше в 5,8 раза, на расстоянии 1 м в спектре С — меньше в 4,8 раза, в спектре В — больше в 7,6 раза, на расстоянии 1,6 м в спектре С — меньше в 4,5 раза, в спектре В — больше в 9,3 раза соответственно и энергетическая экспозиция на расстоянии 0,4 м в спектре С меньше в 4,6 раза, в спектре В — больше в 6,3 раза, на расстоянии 1 м в спектре С меньше в 5,5 раза, в спектре В — больше в 7,7 раза, на расстоянии 1,6 м — в спектре С меньше в 4,4 раза, в спектре В — больше в 8,5 раза соответственно ($p < 0,001$) по сравнению со стандартным ОБУ-Р. Указанное позволяет считать ОБУ-С более безопасным с гигиенической точки зрения по сравнению с ОБУ-Р. Следует отметить наличие обратной зависимости между бактерицидными показателями УФИ у исследованных облучателей и расстоянием, на что указывают и другие исследователи [15, 16].

Следует подчеркнуть, что рабочая энергетическая экспозиция стандартного облучателя ОБУ-Р в 53 Дж/м² на расстоянии 1 м соответствует рекомендуемой бактерицидной эффективности более 90 и 95% в отношении золотистого стафилококка и кишечной палочки соответственно [5]. При этом у ОБУ-С рабочая энергетическая экспозиция в 9,7 Дж/м² в 5,5 раза меньше стандарта и, следовательно, риск развития фотореакций будет значительно меньшим [17, 18].

Работу облучателей с рабочими энергетической освещенностью и энергетической экспозицией, обусловившими подавление роста тест-культуры кишечной палочки на облученной половине чашки Петри с питательной средой, можно считать удовлетворительной с точки зрения бактерицидной эффективности и соответствующей нормативным требованиям [5].

Результаты гигиенической оценки бактерицидной активности исследованных облучателей при обеззараживании поверхностей позволяют заключить, что ОБУ-С обладает высокой бактерицидной эффективностью при низком энергопотреблении вследствие наличия ультрафиолетового спектра С и В с максимумом на длине волны 270±25 нм и направленности создаваемого ультрафиолетового потока в рабочую зону. Так, при облучении кишечной палочки на чашке

Петри с питательной средой разработанный облучатель приводит к задержке роста микроба на незатененной половине с расстоянием 1 м в течение 5 мин на 96,8%, 10 мин — на 98,1%, 15 мин — на 99,57%, облучении золотистого стафилококка в течение 5 мин — на 94,67%, 10 мин — на 97,8%, 15 мин — на 100% по сравнению с контролем ($p < 0,001$) при создаваемой рабочей энергетической освещенности в спектре С 161 мВт/м² и в спектре В — 248 мВт/м² и энергетической экспозиции 9,7 и 14,5 Дж/м² соответственно.

Бактерицидная эффективность облучателя ОБУ-С значимо не отличается от таковой у стандартного облучателя с рабочей энергетической освещенностью в спектрах С и В 161 и 248 мВт/м² и энергетической экспозицией 53 и 1,89 Дж/м² соответственно ($p > 0,001$) при облучении указанных тест-культур в течение 5; 10 и 15 мин и соответствует нормативным требованиям (бактерицидная эффективность при облучении тест-культуры с расстояния 1 м в течение 15 мин должна быть не менее 90%) [5]. Наряду с этим необходимо подчеркнуть, что практически одинаковая бактерицидная эффективность в отношении тест-культур кишечной палочки и золотистого стафилококка отмечается у ОБУ-С при меньших рабочих энергетических освещенности и экспозиции по сравнению со стандартным облучателем.

Облучатель ОБУ-С с создаваемой рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в условиях, приближенных к естественным, при обеззараживании контаминированной тест-культурой кишечной палочки поверхности с расстояния 1 м в течение 15 мин обусловил подавление роста *E. coli* на 99,2%, 10 мин — на 98,3%, 5 мин — на 97,8%, 2 мин — на 97,1%, контаминированных золотистым стафилококком — к подавлению роста *S. aureus* на 98,7; 97,8; 94,1 и 97% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) и будет эффективным при профилактике инфекционных заболеваний, в том числе инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Бактерицидная эффективность обеззараживания поверхностей ОБУ-С достоверно не отличается от таковой у стандартного ОБУ-Р при облучении указанных тест-культур в течение 2, 5, 10 и 15 мин ($p > 0,001$) и соответствует нормативным требованиям (бактерицидная эффективность при облучении тест-культуры с расстояния 1 м в течение 15 мин должна быть не менее 90%) [5].

Облучатель ОБУ-С, так же, как и стандартный ОБУ-Р, подавляет рост тест-культур кишечной палочки и золотистого стафилококка на облучаемой поверхности с фактором редукции 1,4–2,5 lg, который соответствует нормативным требованиям (должен быть более единицы) [5]. Высокую инактивацию патогенов пищевого происхождения (*E. coli* O157: H7, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serotype *Typhimurium* и *Listeria monocytogenes*) на различных поверхностях и *E. coli* ATCC 11229, 15597, 700891 и 25922 показали ультрафиолетовые диодные лампы и в исследованиях других авторов [19, 20].

Результаты исследования гигиенической оценки бактерицидной активности исследованных облучателей при обеззараживании воздуха позволяют заключить, что ОБУ-С с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией при облучении в течение 15 мин загрязненного золотистым стафилококком воздуха в объеме 25 м³ приводит к снижению роста микроба на 98,8% по сравнению с контролем ($p < 0,001$). Бактерицидная эффективность

обеззараживания воздуха ОБУ-С достоверно не отличается от стандартного ОБУ-Р ($p > 0,001$) при тех же условиях облучения.

Таким образом, облучатели бактерицидные ультрафиолетовые обеззараживают загрязненный золотистым стафилококком воздух в объеме 25 м^3 на 98,8–99,4% с расстояния 1,6 м и соответствуют нормативным гигиеническим требованиям [5]. Поскольку бактерицидные показатели на расстоянии 1 и 0,4 м у изучаемых облучателей значительно выше 1,6 м, можно предположить более высокую бактерицидную эффективность обеззараживания воздуха на меньших расстояниях.

Следует отметить, что бактерицидная эффективность обеззараживания воздуха ОБУ-С в 90% в отношении золотистого стафилококка достигается при объемной плотности бактерицидной энергии $0,05\text{ Дж/м}^3$, что значительно ниже рекомендуемой дозы 130 Дж/м^3 [5] и, следовательно, указанный облучатель является более гигиенически безопасным по сравнению со стандартным, у которого бактерицидная эффективность обеззараживания воздуха в 90% в отношении золотистого стафилококка достигается при объемной плотности бактерицидной энергии $0,28\text{ Дж/м}^3$.

В целом следует отметить, что эффективное обеззараживание поверхностей и воздуха помещений ОБУ-С будет одним из важных моментов при проведении санитарно-противоэпидемических мероприятий в профилактике инфекционных заболеваний, в том числе инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи в организациях здравоохранения.

Выводы:

1. ОБУ-С характеризуется более низкими потребляемой мощностью, мощностью ультрафиолетового излучения, суммарным бактерицидным потоком, поверхностной и объемной плотностью бактерицидного потока и бактерицидной энергии в 2,5–5,6 раза ($p < 0,001$) по сравнению со стандартным ОБУ-Р.

2. ОБУ-С создает рабочую энергетическую освещенность на расстоянии 0,4 м в спектре С $751,3 \pm 8,7$, в спектре В — $874 \pm 10,7$, на расстоянии 1 м — $161 \pm 4,9$; $248 \pm 7\text{ Вт/м}^2$, на расстоянии 1,6 м — $72 \pm 1,34$; $115 \pm 4,7\text{ мВт/м}^2$ соответственно и рабочую энергетическую экспозицию на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре С $45,6 \pm 2$; $9,7 \pm 0,3$ и $4,3 \pm 0,2$, в спектре В — $52 \pm 3,2$; $14,5 \pm 0,8$ и $6,7 \pm 0,2\text{ Дж/м}^2$ соответственно. Указанная рабочая энергетическая освещенность и энергетическая экспозиция на расстоянии 0,4; 1 и 1,6 м в спектре С меньше в 4,4–5,5 раза, в спектре В — больше в 5,8–9,3 раза ($p < 0,001$) у разработанного облучателя по сравнению с ОБУ-Р, что позволяет считать его более безопасным с гигиенической точки зрения.

3. ОБУ-С с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией в условиях, приближенных к естественным, при обеззараживании контаминированной тест-культурой кишечной палочки поверхности с расстояния 1 м в течение 2; 5; 10 и 15 мин подавляет рост *E. coli* на 97,1–99,2%, контаминированной золотистым стафилококком — на 94,1–98,7% соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,001$) и будет эффективным при профилактике инфекционных заболеваний, в том числе инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи.

Бактерицидная эффективность обеззараживания поверхностей разработанного облучателя достоверно не отличается от таковой у стандартного

облучателя и соответствует нормативным гигиеническим требованиям.

4. Облучатель с рабочей энергетической освещенностью и энергетической экспозицией при обеззараживании загрязненного золотистым стафилококком воздуха в объеме 25 м^3 в течение 15 мин приводит к снижению роста микроба на 99% по сравнению с контролем ($p < 0,001$), что особенно значимо для профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи в помещениях с асептическим режимом.

5. ОБУ-С можно рекомендовать в качестве гигиенически безопасного оборудования, эффективно обеззараживающего воздух и поверхности для качественного проведения санитарно-противоэпидемических мероприятий и предупреждения инфекционных заболеваний, в том числе инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи в организациях здравоохранения.

Вклад авторов: Н. И. Миклис — концепция и дизайн исследования, проведение испытаний гигиенической безопасности и бактерицидной активности, статистическая обработка данных, обсуждение данных, обзор публикаций по теме статьи, проверка критически важного содержания, редактирование, утверждение рукописи для публикации; И. И. Бурак — проведение испытаний гигиенической безопасности, обсуждение данных; Н. В. Железняк — проведение испытаний бактерицидной активности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой клинической микробиологии учреждения образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» Генералову Игорю Ивановичу.

References (Список источников)

- Bernard J, Gallo R, Krutmann J. Photoimmunity: how ultraviolet radiation affects the immune system? *Nat Rev Immunol*. 2019; 19 (11): 688–701. DOI:10.1038/s41577-019-0185-9
- Neale RE, Lucas RM, Byrne SN, et al. The effects of exposure to solar radiation on human health. *Photochem Photobiol Sci*. 2023; 22 (5): 1011–47. DOI:10.1007/s43630-023-00375-8
- Ivanov I, Mappes T, Schaupp P, et al. Ultraviolet radiation oxidative stress affects eye health. *J of Biophotonics*. 2018; 11 (7): e201700377. DOI:10.1002/jbio.201700377
- Prue H, Norval M, Scott N, et al. Exposure to ultraviolet radiation in the modulation of human diseases annual review of pathology. *Mechanisms of Disease*. 2019; (14): 55–81. DOI:10.1146/annurev-pathmechdis-012418-012809
- The use of ultraviolet biocidal radiation for disinfection of air and surfaces in health care organizations: methodical recommendations 26–0101. Minsk, 2001. 42 p. (In Russ.) Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в лечебно-профилактических учреждениях: метод. рекомендации, утв. Гл. гос. сан. врачом Респ. Беларусь 01.06.2001 № 26–0101. Минск, 2001. 42 с.
- Strekalovskaya AD, Baranova OV, Rachinskih AV, et al. Disinfection of Medical Devices/Advances in Health Sciences Research, volume 42 Proceedings of the Conference on Health and Wellbeing in Modern Society (CHW 2021). 281–5. URL: <https://www.atlantispress.com/proceedings/chw-21/125968759> (25 Feb 2023).
- Allash M, Eliseev N, Popov O, et al. Testing and characterization of mercury and amalgam germicidal ND UV lamps from different manufacturers *Light & Engineering* 2019; (3): 24–32. (In Russ.) Аллаш М.Е., Елисеев Н.П., Попов О.А. и др. Тестирование и анализ характеристик ртутных и амальгамных бактерицидных УФ ламп НД разных производителей. *Светотехника*. 2019; (3): 24–32.
- Miklis NI, Burak II, Grigorieva SV. Efficiency of using the air recirculator "Vityaz". *Health and Environment* 2012; (21): 119–29.

(In Russ.) Миклис Н. И., Бурак И. И., Григорьева С. В. Эффективность использования рециркулятора воздуха «Витязь». Здоровье и окружающая среда. 2012; (21): 119–29.

9. Glazunov VI, Glazunov GV, Frolov VI, et al. Device for surface disinfection: patent RU 2751750 С 1 Russian Federation, А61L 2/10, А61L 2/24. 07/16/2021. Bull. 20. (In Russ.) Устройство для обеззараживания поверхности: патент RU 2751750 С 1 Рос. Федерации, МПК А61L 2/10, А61L 2/24. Глазунов В. И., Глазунов Г. В., Фролов В. И. и др.; заявитель ООО «ТД «Химмед»; заявл. 11.12.2020; опубл. 16.07.2021. Бюл. №20.

10. Efimov NA. Bactericidal ultraviolet LED irradiator: patent RU 197893 U 1 Russian Federation, А61L 9/20. 06/04/2020. Bull. 16. (In Russ.) Ефимов Н. А. Бактерицидный ультрафиолетовый светодиодный облучатель: патент RU 197893 U 1 Рос. Федерации, МПК А61L 9/20; заявитель ООО «ТБК»; заявл. 02.03.2020, опубл. 04.06.2020. Бюл. №16.

11. Ignatov SA, Miklis NI, Burak II. Device for the disinfection of surfaces and air with ultraviolet light: the decision to issue a patent 30/01/2023, А61L 9/20 (2006.01), А 61L 2/10 (2006.01). ВУ и 20220278. (In Russ.) Устройство для обеззараживания поверхностей и воздуха ультрафиолетовым светом: решение о выдаче пат. на пол. модель от 30/01/2023, МПК А61L 9/20 (2006.01), МПК А 61L 2/10 (2006.01). Игнатов СА, Миклис НИ, Бурак ИИ. заявитель Вит. гос. мед. ун-т, ОАО «Зенит». заявка ВУ и 20220278; заявл. 08.12.2022.

12. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement of irradiance and dose ultraviolet radiation in photobiology. Procedure of measurements. StSt P 8.759–2011. Moscow, 2019. 6 p. (In Russ.) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение энергетической освещенности и энергетической экспозиции ультрафиолетового излучения в фотобиологии: Методика измерений. ГОСТ Р 8.759–2011. М., 2019. 6 с.

13. Methods for testing and evaluating the antimicrobial activity of disinfectants and antiseptics: Instruction on application 11-20-204-2003, 12.12.2003. Minsk, 2003. 41 p. (In Russ.) Методы проверки и оценки антимикробной активности дезинфицирующих и антисептических средств: инстр. по применению

№ 11-20-204-2003, утв. Гл. гос. сан. врачом Респ. Беларусь 12.12.2003. Минск, 2003. 41 с.

14. The number of microorganisms in the air of the premises of health care organizations: a measurement technique by counting colonies AMI. MN 0022–2021. Minsk, 2021. 12 p. (In Russ.) Количество микроорганизмов в воздухе помещений организаций здравоохранения: методика измерений методом подсчета колоний АМИ. МН 0022–2021. М-во здравоохран. Респ. Беларусь. Минск, 2021. 12 с.

15. Itraeva-Liudchik SL, Klebanov RD. Comparative radiation assessment of workers in the conditions of welding. Health and Environment. 2015; 25 (2): 11–5. (In Russ.) Итнаева-Людчик С. Л., Клебанов Р. Д. Сравнительная оценка условий облучения работников при выполнении сварочных работ. Здоровье и окружающая среда. 2015; 25 (2): 11–5.

16. Litvinova NA, Litvinov DO. Assessment of ultraviolet radiation from various sources of illumination. Dialogue of Sciences in the 21st century. 2015; 1 (2): 31–3. (In Russ.) Литвинова Н. А., Литвинов Д. О. Оценка ультрафиолетового излучения от различных источников освещения. Диалог наук в XXI веке. 2015; 1 (2): 31–3.

17. Cela E, Friedrich A, Paz M, et al. Time-course study of different innate immune mediators produced by UV-irradiated skin: Comparative effects of short and daily versus a single harmful UV exposure. Immunology. 2015; 145 (1): 82–93. DOI:10.1111/imm.12427

18. Rzaeva N, Agayev T, I Dmitrenko A, et al. Study of visual perception under conditions of extreme light exposures. Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk. 2011; 42 (1): 67–96. (In Russ.) Рзаева Н. М., Агаев Т. М., Дмитренко А. И. и др. Исследование зрительной перцепции в условиях экстремальных световых воздействий. Успехи физиологических наук. 2011; 42 (1): 67–96.

19. Kim D, Kang D. Effect of surface characteristics on the bactericidal efficacy of UVC LEDs. J Food Control. 2020; 108: 106869. DOI:10.1016/j. foodcont. 106869

20. Xiao IY, Chu XN, He M, et al. Impact of UVA pre-radiation on UVC disinfection performance: Inactivation, repair and mechanism study. Water Research. 2018; 141: 279–88. DOI:10.1016/j. watres. 2018.05.021

Статья поступила в редакцию 29.03.2023; одобрена после рецензирования 07.05.2023; принята к публикации 24.11.2023. The article was submitted 29.03.2023; approved after reviewing 07.05.2023; accepted for publication 24.11.2023.

Информация об авторах:

Наталья Ивановна Миклис — заведующая кафедрой экологической и профилактической медицины, доцент, кандидат медицинских наук, ORCID 0000-0001-6496-4472; **Иван Иванович Бурак** — профессор кафедры экологической и профилактической медицины, профессор, доктор медицинских наук, ORCID 0000-0002-7204-3056; **Наталья Васильевна Железняк** — доцент кафедры клинической микробиологии, доцент, кандидат медицинских наук, ORCID 0000-0002-1193-0225.

Information about the authors:

Natalia I. Miklis — Head of the Department of Environmental and Preventive Medicine, Associate Professor, PhD, ORCID 0000-0001-6496-4472; **Ivan I. Burak** — Professor of the Department of Environmental and Preventive Medicine, Professor, DSc, ORCID 0000-0002-7204-3056; **Natalia V. Zheleznyak** — Assistant Professor of Department of Clinical Microbiology, Associate Professor, PhD, ORCID 0000-0002-1193-0225.