

**АБСОРБЦИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
СВЕТООТВЕРЖДАЕМЫХ РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
„ОМНИХРОМА“**

Л. И. ШАЛАМАЙ<sup>1</sup>, Е. Е. МАЙОРОВ<sup>2\*</sup>, Е. Ю. МЕНДОСА<sup>3</sup>,  
В. Б. ЛАПМУСОВА<sup>1</sup>, Н. С. ОКСАС<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Россия  
\*majorov\_ee@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова,  
Москва, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты исследования по применению абсорбционного спектрального анализа светоотверждаемых рентгеноконтрастных материалов „Омнихрома“ для определения их оптических свойств. Применение данного метода связано с возможностью производить количественное определение элементного состава вещества, высокой избирательностью, простым приготовлением исследуемых стоматологических образцов, точностью и чувствительностью. С использованием спектрофотометра в результате экспериментальных измерений получены спектральные зависимости коэффициента поглощения исследуемых материалов от длины волны излучения образцов во всем измеряемом диапазоне. Определены максимальные и минимальные значения коэффициента поглощения исследуемых агентов.

**Ключевые слова:** спектрофотометр, абсорбционный спектральный анализ, коэффициент поглощения, дифракционная решетка, полупрозрачная пластина, собирающие линзы

**Ссылка для цитирования:** Шаламай Л. И., Майоров Е. Е., Мендоса Е. Ю., Лапмусова В. Б., Оксас Н. С. Абсорбционный спектральный анализ светоотверждаемых рентгеноконтрастных материалов „Омнихрома“ // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 9. С. 781—788. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-9-781-788.

**ABSORPTION SPECTRAL ANALYSIS  
OF LIGHT-CURED RADIOPAQUE MATERIALS „OMNICHROME“**

L. I. Shalamay<sup>1</sup>, E. E. Maiorov<sup>2\*</sup>, E. Yu. Mendosa<sup>3</sup>,  
V. B. Lampusova<sup>1</sup>, N. S. Oksas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pavlov University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia  
\*majorov\_ee@mail.ru

<sup>3</sup> A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry,  
Moscow, Russia

**Abstract.** Results of a study on the use of absorption spectral analysis of light-curing radiopaque materials „Omichrome“ to evaluate their optical properties are presented. Application of this method is associated with the ability to quantitatively determine the elemental composition of a substance, high selectivity, simple preparation of dental samples under study, accuracy and sensitivity. Using spectrophotometer for experimental measurements, the spectral dependences of the absorption coefficient of the analyzed materials on the radiation wavelength were obtained over the entire measured range. The maximum and minimum values of the absorption coefficient of the materials were defined.

**Keywords:** spectrophotometer, absorption spectral analysis, absorption coefficient, diffraction grating, translucent plate, collecting lenses

**For citation:** Shalamay L. I., Maiorov E. E., Mendosa E. Yu., Lampusova V. B., Oksas N. S. Absorption spectral analysis of light-cured radiopaque materials „Omnichrome“. *Journal of Instrument Engineering*. 2023. Vol. 66, N 9. P. 781—788 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-9-781-788.

**Введение.** Основу известных методов анализа составляет воздействие на вещество внешних факторов, таких как химическая реакция, температура, электромагнитное излучение, поток элементарных частиц и т.д. [1]. Наибольшее распространение получили методы, основанные на взаимодействии вещества с электромагнитным излучением [2]. При таком взаимодействии излучение может отражаться, рассеиваться, поглощаться, а также проходить через вещество. Известно, что если исследуемый объект поглощает электромагнитное излучение, то этот метод относится к абсорбционному спектральному анализу [3]. Данный метод позволяет получить информацию о поглощательной способности вещества в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном спектральных диапазонах [4]. Поглощательная способность вещества соответствует переходам атомов из более низких энергетических состояний в более высокие, и величина поглощения зависит от заселенности нижнего уровня наблюдаемой линии [5, 6].

Наиболее универсальными методами контроля исследуемых объектов, согласно анализу литературных данных, являются абсорбционные спектральные методы. Такие методы измерений и работа соответствующих приборов основаны на анализе светового излучения, поглощенного веществом [7, 10]. Это направление бурно развивается в оптическом приборостроении, достигнуты успехи в практическом использовании указанных методов, на высоком уровне проведен теоретический анализ их функционирования, решены вопросы построения и эксплуатации соответствующих приборов [11, 12].

Применение такого современного метода контроля, как абсорбционный спектральный анализ, связано с возможностью производить количественное определение элементного состава вещества, высокой избирательностью, простым приготовлением исследуемых образцов, точностью и чувствительностью [13—15]. В этой связи исследование оптических новейших стоматологических материалов методом абсорбционного спектрального анализа представляет несомненный интерес.

Цель настоящей статьи — применение абсорбционного спектрального анализа светоотверждаемых рентгеноконтрастных материалов „Омнихрома“ для определения оптических свойств объектов; получение спектральных зависимостей коэффициента поглощения исследуемых материалов от длины волны излучения представленных образцов на автоматизированном спектрофотометре „u-Violet DB“ и анализ полученных экспериментальных результатов.

**Метод и объекты исследования.** В качестве объектов исследования использовались современные стоматологические материалы, предназначенные для восстановительных работ на твердых тканях зуба, фирмы „Tokuyama Dental“ (Япония): „Omnichroma Bloker“, „Omnichroma Bloker Flow“ и „Omnichroma Flow“.

„Omnichroma Bloker“ — светоотверждаемый рентгеноконтрастный, пастообразной консистенции, пакуемый композитный материал. Высоконаполнен сферическим кремний-циркониевым материалом (82 % по весу) и предварительно полимеризованным композитным наполнителем, включающим кремний-циркониевые частицы размером 200 нм. Универсальный упаковочный материал для реставрации передних и боковых зубов. Обладает малой полимеризационной усадкой (1,3 %), радикально-усиленной полимеризацией, контролирующей низкий уровень остаточных мономеров. Фотоинициатор полимеризации — камфорохинон, время отсвечивания 20 с. Используется в качестве опала при пломбировании сквозных полостей передних зубов III и IV классов (слой 0,5...0,7 мм выкладывается в качестве небной/язычной стенки реставрации) для устранения излишней прозрачности реставрации, закрытия металлических частей протеза, маскировки дисколоритов в прямой композитной реставрации фронтальных и жевательных зубов. Материал совместим с любыми адгезивами и композитами. Имеет длительное рабочее время (90 с). Сверхбыстро полируется минималь-

ным набором инструментов, не требует обязательного использования полировочных паст. Гипоаллергенен в связи с высоким уровнем конверсии мономеров.

„Omnichroma Blocker Flow“ — светоотверждаемый рентгеноконтрастный стоматологический материал. Высоконаполнен сферическим кремний-циркониевым материалом (71 % по весу и 57 % по объему) с размером частиц 200 нм. Используется с полимеризованным композитным наполнителем с частицами размером ~10 мкм. Гипоаллергенен в связи с высоким уровнем конверсии мономеров.

„Omnichroma Flow“ — светоотверждаемый рентгеноконтрастный стоматологический материал. Высоконаполнен сферическим кремний-циркониевым материалом (71 % по весу и 57 % по объему) с размером частиц 300 нм. Используется с полимеризованным композитным наполнителем. Сверхбыстро полируется минимальным набором инструментов, не требует обязательного использования полировочных паст.

Исследуемые материалы были предоставлены Центром имплантации и комплексного лечения (Санкт-Петербург).

Для исследования оптических свойств стоматологических материалов использовался спектрофотометр „u-Violet DB“ компании „Лабконцепт“ (Санкт-Петербург), внешний вид прибора представлен на рис. 1.



Рис. 1

Спектрофотометр предназначен для работы в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах спектра (190...1100 нм); прибор широко используется при биохимических исследованиях, в химической, фармацевтической и пищевой промышленности, для экологического мониторинга и т.п. Спектрофотометр может подключаться к периферийным устройствам для анализа результатов, сохранять полученные данные во внутренней памяти и при аварийных отключениях от питания; также возможен выбор нескольких режимов измерений: спектрального, фотометрического, количественного и кинетического.

Оптическая схема спектрофотометра „u-Violet DB“ представлена на рис. 2, где 1 — дейтериевая лампа; 2 — вольфрамовая галогеновая лампа; 3 — собирающее зеркало; 4—9 — фильтры; 10 — защитная пленка;  $S_1$ ,  $S_2$  — щели; 11 — дифракционная решетка; 12, 13 — направляющие зеркала; 14 — полупрозрачная пластина; 15—17 — собирающие линзы; 18 — кюветное отделение; 19, 20 — кремниевые фотодиоды.

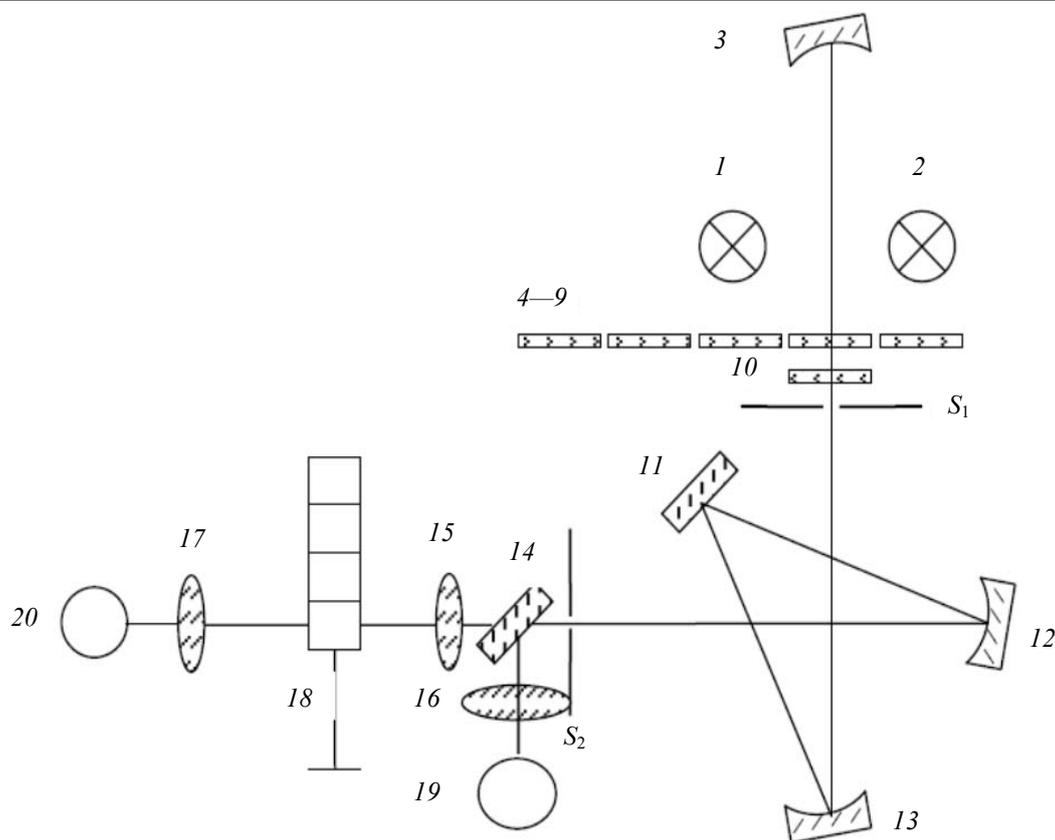


Рис. 2

Технические характеристики спектрофотометра приведены в таблице.

Характеристика	Описание
Оптическая схема	Двухлучевая
Источник излучения	Вольфрамовая галогенная и дейтериевая лампы
Детектор	Кремниевый фотодиод
Спектральный диапазон	190—1100 нм
Ширина щели	1 нм
Точность установки длины волны	$\pm 0,3$ нм
Фотометрический диапазон	-0,3...3,5 Abs
Уровень рассеянного излучения (220 нм NaI, 360 нм NaNO <sub>2</sub> )	$\leq 0,05$ %Т
Фотометрическая точность	$\pm 0,002$ Abs (0...0,5 Abs), $\pm 0,004$ Abs (0,5...1 Abs), $\pm 0,3$ % Т (0...100 % Т)
Фотометрическая воспроизводимость	0,15 % Т
Размеры	63×47×21 см
Вес	26 кг

**Экспериментальные результаты.** В процессе измерений получена информация о спектрах поглощения исследуемых твердофазных объектов, которые были изготовлены в виде таблеток. Размеры образцов следующие — диаметр 10 мм, толщина 1 мм; данные параметры позволяют правильно закрепить образцы в канале измерений. Канал измерений спектрофотометра представлен на рис. 3, где  $a$  — образец,  $b$  — рамка, закрепленная на направляющей.

В результате экспериментальных измерений были получены спектральные зависимости коэффициента поглощения ( $K$ ) исследуемых материалов от длины волны излучения образцов

во всем измеряемом диапазоне: см. рис. 4, где *a* — „Omnichroma Flow“, *б* — „Omnichroma Blocker flow“, *в* — „Omnichroma Blocker“.

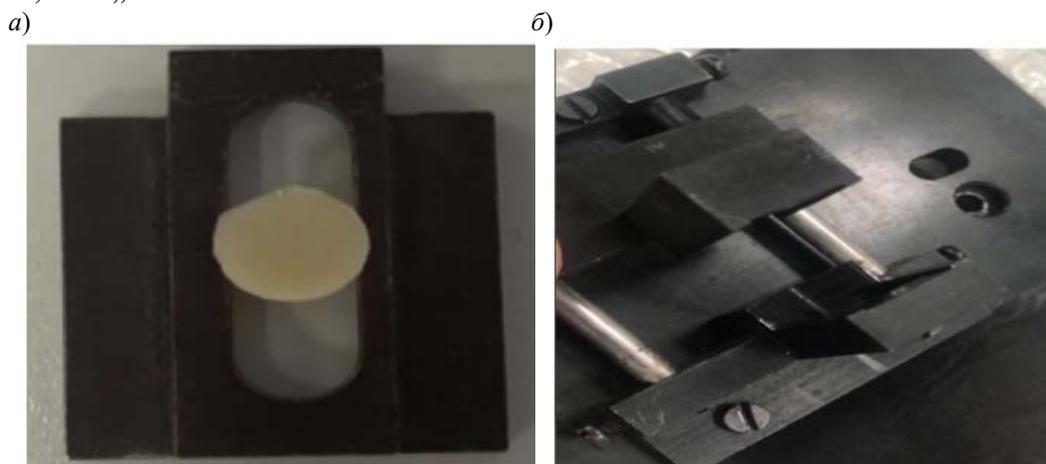


Рис. 3

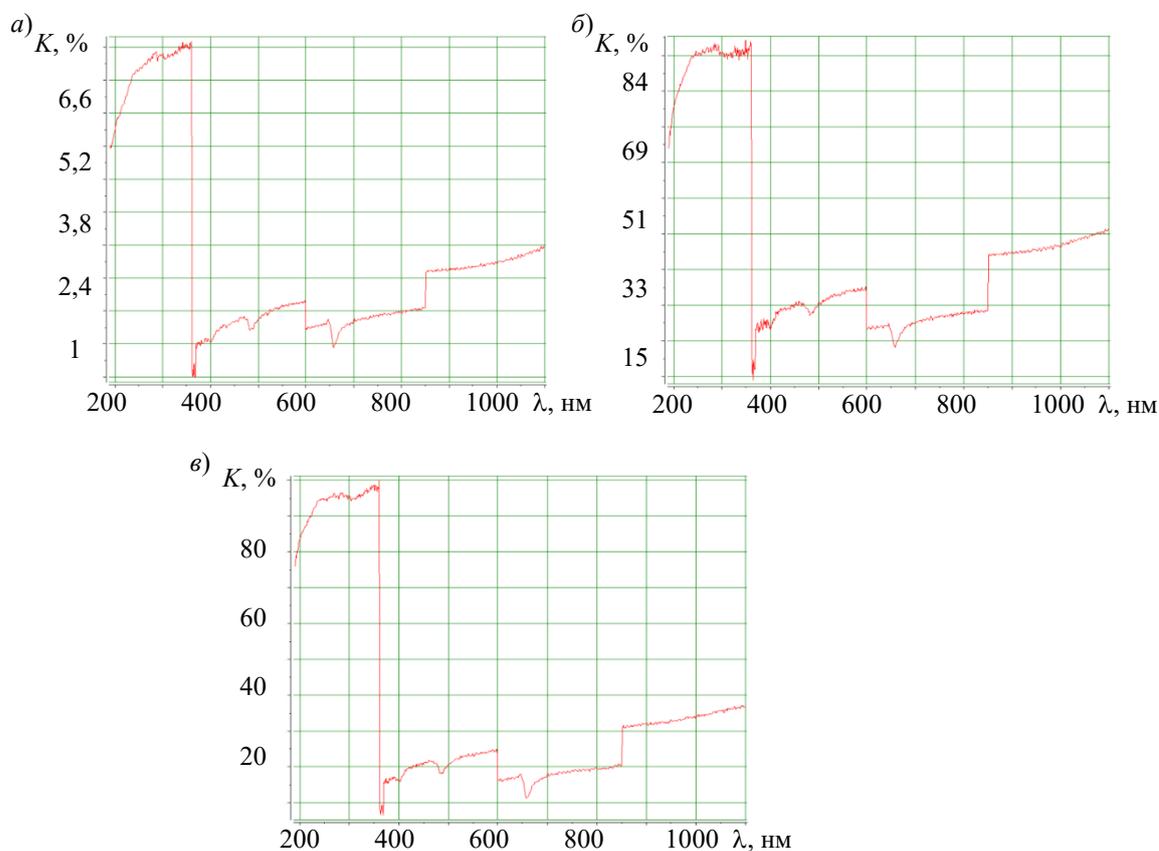


Рис. 4

Анализ графиков показывает, что распределение коэффициента поглощения носит сложный характер. Для всех материалов кривые по форме похожи, что подчеркивает их идентичный химический состав. Также для всех материалов максимум коэффициента поглощения находится в ультрафиолетовом диапазоне длин волн  $\lambda = 190...300$  нм, а минимум — в диапазоне  $\lambda = 360...370$  нм с видимой областью спектра ( $\lambda = 380...700$  нм). Для каждого материала при  $\lambda = 850$  нм прослеживается рост коэффициента поглощения.

„Omnichroma Flow“ (см. рис. 4, *a*) во всем измеряемом диапазоне длин волн имеет самый низкий коэффициент поглощения  $K = 1...8$  %, что, по-видимому, связано с высокой прозрачностью образца. Изготовленный образец практически неразличим с образцом стекла К 8.

„Omnichroma Blocker“ (см. рис. 4, *в*) имеет самый высокий коэффициент поглощения в диапазоне  $\lambda = 190...300$  нм, а „Omnichroma Blocker Flow“ (см. рис. 4, *б*) — в диапазоне  $\lambda = 370...1100$  нм. Это связано с тем, что в составе блокеров имеются пигменты и красители, которые эффективно и надежно блокируют оптическое влияние темноты полости рта при восстановлении сквозных дефектов коронковой части передних зубов.

**Заключение.** Приведены результаты исследования стоматологических материалов „Omnichroma“. Установлено, что наибольшее значение коэффициента поглощения в диапазоне длин волн  $\lambda = 190...300$  нм имеет композит „Omnichroma Blocker“. По форме спектральные зависимости исследуемых образцов повторяют друг друга — это означает, что исследуемые материалы хорошо сбалансированы, обладают выраженным хамелеон-эффектом по отношению к твердым тканям зубов. Снижение коэффициента поглощения в диапазоне  $\lambda = 360...370$  нм подтверждает флуоресцентные свойства данных материалов, а значение коэффициента поглощения в длинноволновом спектре инфракрасного диапазона свидетельствует о термоизолирующей способности материалов.

Полученные результаты работы могут представлять интерес для медицины, в частности терапевтической стоматологии, а также для оптического приборостроения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князева М. А. Виды стоматологических фотополимеризационных устройств и их сравнительная характеристика // Вестн. ВГМУ. 2011. Т. 10, № 4. С. 138—147.
2. Maiorov E. E., Prokopenko V. T., Ushveridze L. A. A System for the coherent processing of specklegrams for dental tissue surface examination // Biomedical Engineering. 2014. Vol. 47, N 6. P. 304—306. DOI: 10.1007/s10527-014-9397-2.
3. Maiorov E. E., Shalamay L. I., Dagaev A. V., Kirik D. I., Khokhlova M. V. An interferometric device for detecting subgingival caries // Biomedical Engineering. 2019. Vol. 53. P. 258—261. DOI: 10.1007/s10527-019-09921-0.
4. Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Нарушак Н. С. Использование метода спектроскопии отражения для распознавания подлинности стоматологических реставрационных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 1. С. 63—70. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-1-63-70.
5. Кузьмина Д. А., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Нарушак Н. С., Сакерина А. И., Шаламай Л. И. Экспериментальные исследования оптических свойств твердых тканей передних зубов и современных синтетических пломбирочных материалов // Стоматология для всех. 2020. № 4. С. 58—62. DOI: 10.35556/idr-2020-4(93)58-62.
6. Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Кузьмина Д. А., Мендоса Е. Ю., Нарушак Н. С., Сакерина А. И. Спектральный анализ стоматологического реставрационного материала и зубной ткани пациентов разных возрастных групп *in vitro* // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2020. № 8. С. 105—114.
7. Майоров Е. Е., Курлов В. В., Дагаев А. В., Таюрская И. С., Громов О. В., Гулиев Р. Б. Применение спектроколориметрической системы для исследований реставрационных стоматологических материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 12. С. 6—10. DOI: 10.25791/pribor.12.2021.1307.
8. Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Лампусова В. Б., Оксас Н. С. Спектральные методы и средства исследований оптических свойств стоматологического материала на основе метилметакрилатных смол // Медицинская техника. 2021. № 6. С. 24—27.
9. Шаламай Л. И., Оксас Н. С., Лампусова В. Б., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е. Экспериментальные исследования спектров оптического поглощения и пропускания стоматологического реставрационного материала разной толщины // Dental Forum. 2022. № 1. С. 22—26.
10. Шаламай Л. И., Майоров Е. Е., Мендоса Е. Ю., Лампусова В. Б., Оксас Н. С. Определение рабочей толщины слоя современного стоматологического блокера методом спектроскопии // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 2. С. 112—117. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-2-112-117.

11. Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Лампусова В. Б., Оксас Н. С. Получение спектральных зависимостей коэффициента пропускания композитного материала, блокирующего влияние темноты полости рта при реставрации сквозных дефектов коронковой части передних зубов // *Стоматология для всех*. 2022. № 1(98). С. 52—57. DOI: 10.35556/idr2022-1(98)52-57.
12. Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Лампусова В. Б., Оксас Н. С. Применение метода молекулярной спектроскопии для количественного анализа твердофазных стоматологических образцов // *MEDICUS*. 2022. № 2 (44). С. 54—60.
13. Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е. Исследование оптических свойств композитных материалов и твердых тканей зуба пациентов *in vitro* // *Dental Forum*. 2021. № 1. С. 3—6.
14. Кузьмина Д. А., Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Нарушак Н. С. Применение флуоресцентной спектроскопии для анализа пломбировочных материалов и твердых тканей зуба *in vitro* // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2021. Т. 64, № 7. С. 576—582. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-576-582.
15. Черняк Т. А., Бородянский Ю. М., Петрова Е. А., Майоров Е. Е., Попова Е. В., Хохлова М. В. Применение автоматизированного оптико-механического устройства для томографического исследования десны под воздействием внешних агентов // *Научное приборостроение*. 2021. Т. 31, № 3. С. 16—24.

#### **Сведения об авторах**

- Людмила Ивановна Шаламай** — канд. мед. наук, доцент; Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; E-mail: l.shalamay@mail.ru
- Евгений Евгеньевич Майоров** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной математики; E-mail: majorov\_ee@mail.ru
- Елена Юрьевна Мендоса** — Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, кафедра клинической стоматологии; ассистент; E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com
- Виктория Борисовна Лампусова** — канд. мед. наук, доцент; Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; E-mail: victoriala383@gmail.com
- Наталья Сергеевна Оксас** — канд. мед. наук, доцент; Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; E-mail: gyvas@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.03.2022; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 31.07.2023.

#### **REFERENCES**

1. Knyazeva M.A. *Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*, 2011, no. 4(10), pp. 138–147. (in Russ.)
2. Maiorov E.E., Prokopenko V.T., Ushveridze L.A. *Biomedical Engineering*, 2014, no. 6(47), pp. 304–306, DOI: 10.1007/s10527-014-9397-2.
3. Maiorov E.E., Shalamay L.I., Dagaev A.V., Kirik D.I., Khokhlova M.V. *Biomedical Engineering*, 2019, vol. 53, pp. 258–261, DOI: 10.1007/s10527-019-09921-0.
4. Kuzmina D.A., Maiorov E.E., Shalamay L.I., Mendosa E.Yu., Narushak N.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2021, no. 1(64), pp. 63–70, DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-1-63-70. (in Russ.)
5. Kuzmina D.A., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E., Narushak N.S., Sakerina A.I., Shalamay L.I. *Dentistry for everyone*, 2020, no. 4, pp. 58–62, DOI.org/10.35556/idr-2020-4(93)58-62. (in Russ.)
6. Maiorov E.E., Shalamay L.I., Kuzmina D.A., Mendosa E.Yu., Narushak N.S., Sakerina A.I. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2020, no. 8, pp. 105–114. (in Russ.)
7. Maiorov E.E., Kurlov V.V., Dagaev A.V., Tayurskaya I.S., Gromov O.V., Guliyev R.B. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2021, no. 12, pp. 6–10, DOI: 10.25791/pribor.12.2021.1307. (in Russ.)
8. Maiorov E.E., Shalamay L.I., Mendosa E.Y., Lampusova V.B., Oksas N.S. *Biomedical Engineering*, 2021, no. 6, pp. 24–27 (in Russ.)
9. Shalamay L.I., Oksas N.S., Lampusova V.B., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E. *Dental Forum*, 2022, no. 1, pp. 22–26. (in Russ.)
10. Shalamay L.I., Maiorov E.E., Mendosa E.Yu., Lampusova V.B., Oksas N.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2022, no. 2(65), pp. 167–172, DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-2-167-172. (in Russ.)

11. Shalamay L. I., Mendosa E. Yu., Maiorov E. E., Lampusova V. B., Oksas N. S. *Dentistry for everyone*, 2022, no. 1(98), pp. 52–57, DOI: 10.35556/idr2022-1(98)52-57. (in Russ.)
12. Shalamay L.I., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E., Lampusova V.B., Oksas N.S. *MEDICUS*, 2022, no. 2(44), pp. 54–60. (in Russ.)
13. Shalamay L.I., Mendoza E.Yu., Kuzmina D.A., Maiorov E.E. *Dental forum*, 2021, no. 1, pp. 3–6. (in Russ.)
14. Kuzmina D.A., Shalamay L.I., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E., Narushak N.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2021, no. 7(64), pp. 576–582, DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-576-582. (in Russ.)
15. Chernyak T.A., Borodyansky Y.M., Petrova E.A., Maiorov E.E., Popova E.V., Khokhlova M.V. *Nauchnoe Priborostroenie* (Scientific Instrumentation), 2021, no. 3(31), pp. 16–24. (in Russ.)

**Data on authors**

<b>Ludmila I. Shalamay</b>	—	PhD, Associate Professor; Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; E-mail: l.shalamay@mail.ru
<b>Evgeny E. Maiorov</b>	—	PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Applied Mathematics; E-mail: majorov_ee@mail.ru
<b>Elena Yu. Mendosa</b>	—	A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Department of Clinical Dentistry; Assistant; E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com
<b>Victoria B. Lampusova</b>	—	PhD, Associate Professor; Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; E-mail: victoriala383@gmail.com
<b>Nataliya S. Oksas</b>	—	PhD, Associate Professor; Pavlov University, Department of Therapeutic Dentistry and Periodontology; E-mail: gyvas@yandex.ru

Received 24.03.2022; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 31.07.2023.