
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 004.056.53
DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-576-582

ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБА *in vitro*

Д. А. КУЗЬМИНА¹, Л. И. ШАЛАМАЙ², Е. Ю. МЕНДОСА³,
Е. Е. МАЙОРОВ⁴, Н. С. НАРУШАК²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия

²Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова,
197022, Санкт-Петербург, Россия

³Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова,
127473, Москва, Россия

⁴Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики,
190103, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: majorov_ee@mail.ru

Рассматривается метод флуоресцентной спектроскопии как высокоточный и информативный инструмент для измерения оптических свойств биологических и синтетических объектов. Представлен автоматизированный люминесцентный спектрометр СДЛ-2 для определения спектров флуоресценции исследуемых материалов. Измерены спектры флуоресценции 50 образцов композитных материалов и твердых тканей зубов 50 пациентов разных возрастных групп. Исследованы оптические характеристики эмалево-дентинного соединения, дентина и эмали. По результатам сравнительного анализа пломбировочных материалов выявлено, что композиты „Estelite Asteria A2B“ и „Estelite Asteria OcE“ по оптическим свойствам превосходят другие материалы. Приведены рекомендации по использованию каждого материала в отдельности.

Ключевые слова: флуоресцентная спектроскопия, интенсивность, терапевтическая стоматология, эстетика, композитный материал, зубы, длина волны

Введение. На сегодняшний день в терапевтической стоматологии особое внимание уделяется флуоресценции зубов и пломбировочных материалов. При реставрационных мероприятиях с использованием композитов важно правильно подобрать цвет восстановительного материала к натуральному зубу [1—5]. Однако в современных условиях жизни при различном освещении (особенно при ультрафиолетовом) визуальное восприятие цвета твердых тканей зубов может различаться. Поэтому необходимо реставрационный материал (композитный или керамический) тщательно подбирать по оптическим свойствам к естественным тканям зубов [6—10].

Композитные пломбировочные материалы являются эффективным средством для восстановления передних и боковых зубов. В стоматологической практике они применяются более тридцати лет. Для получения высокого уровня эстетики реставрации необходимо, чтобы спектр флуоресценции реставрационного материала совпадал со спектром натурального зуба.

Сама физическая природа флуоресценции была предложена в начале XX века Яблонским [11—17]. Флуоресценцией называется световое излучение после поглощения ультрафиолетового или видимого света люминесцентной молекулой или подструктурой. Способные флуоресцировать молекулы, атомы и молекулярные комплексы называют флуорофорами [18—22]. Применительно к исследованию биологических объектов (зубов) многие молекулы являются природными флуорофорами. Известно, что флуоресцировать в белках способны только ароматические аминокислоты [10, 18, 23]. Основным флуоресцирующим компонентом в них является триптофан, который дает около 90 % всей белковой флуоресценции. Поэтому флуоресценция твердых тканей зубов происходит благодаря органическим компонентам этих тканей. Доказано, что с увеличением количества белков в тканях зуба растет и флуоресценция [23]. На основании литературных данных выявлено, что зубная эмаль флуоресцирует меньше чем дентин, зубы у молодых людей флуоресцируют больше, чем у пожилых. Как правило, во флуоресценции естественных зубов преобладает бело-голубой оттенок [23].

Современная стоматология обязана учитывать явление флуоресценции при эстетической реставрации. Исследование пломбировочных материалов и твердых тканей зуба *in vitro* методом флуоресцентной спектроскопии и является целью настоящей статьи.

Люминесцентный спектрометр. Измерение спектров флуоресценции биологических и синтетических объектов проводились на автоматизированном люминесцентном спектрометре СДЛ-2, состоящем из монохроматора возбуждения МДР-12 и монохроматора регистрации МДР-23. В качестве источника возбуждения использовалась ксеноновая лампа ДКсШ-120. Регистрация светового сигнала после прохождения монохроматора осуществлялась с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-100 (диапазон 230...800 нм). Оценка свечения исследуемых объектов производилась с передней грани образцов. Угол между плоскостью передней грани и осью регистрации составлял 45°. Для сравнения интенсивности свечения различных образцов осуществлялась их жесткая фиксация в аналогичных условиях регистрации. При измерении спектров стабилизация мощности светового потока возбуждения обеспечивалась с погрешностью $\pm 0,3\%$, его абсолютное значение на выходе монохроматора не превышало 10^{-4} Вт/см². Погрешность при измерениях спектров исследуемых объектов не превышала $\pm 3\%$.

Объекты исследования. В ходе исследований были измерены спектры флуоресценции твердых тканей зубов 50 пациентов разных возрастных групп (младшей — до 25 лет и старшей — от 45 до 70 лет). Флуоресцентные свойства изучены на 50 образцах композитных материалов: „Estelite Asteria A2B“, „Estelite Asteria OcE“, „Filtek Ultimate flowable A2“, „Filtek Ultimate flowable OA2“, „Harmonize A 2 enamel“, „Harmonize A 2 dentin“. Данные материалы предназначены для эстетических реставраций на фронтальных и боковых зубах, а также возможно применение для кариозных полостей всех классов, включая реставрации, требующие минимального препарирования полости [20—23]. Все материалы имеют высокую степень наполненности композита, что обеспечивает низкую полимеризационную усадку. Содержащийся неорганический наполнитель в представленных материалах гарантирует высокую стойкость блеска и устойчивость к истиранию. Все материалы отмечаются специализированной технологией ускорения фотополимеризации. Эти композиты предназначены для полимеризации разными коротковолновыми источниками излучения (галогеновая, светодиодная или плазменная лампы) в диапазоне длин волн 400...500 нм.

В терапевтической стоматологии представленные материалы являются одними из самых перспективных при восстановительных работах на твердых тканях фронтальных и боковых зубов.

Экспериментальные результаты. Спектральные зависимости флуоресценции твердых тканей зубов пациентов разных возрастных групп представлены на рис. 1: 1 — эмалево-дентинное соединение слабоминерализованного зуба (пациенты до 25 лет), 2 — эмалево-

дентинное соединение сильноминерализованного зуба (пациенты от 45 до 70 лет), 3 — слабоминерализованный дентин (пациенты до 25 лет), 4 — сильноминерализованный дентин (пациенты от 45 до 70 лет), 5 — слабоминерализованная эмаль (пациенты до 25 лет), 6 — сильноминерализованная эмаль (пациенты от 45 до 70 лет).

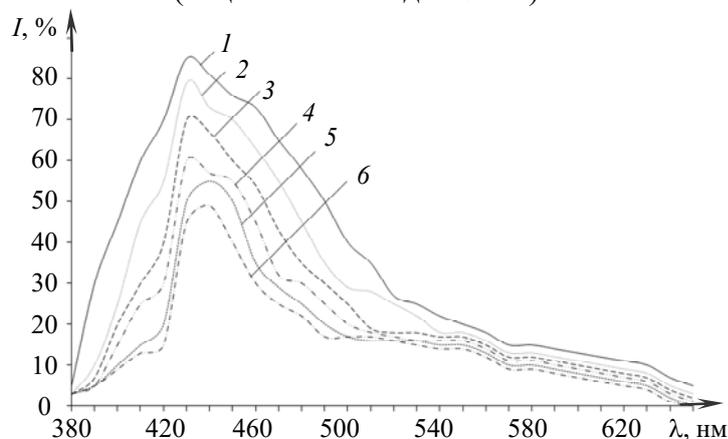


Рис. 1

При исследовании твердых тканей зубов выявлены разные значения интенсивности флуоресценции (I). Максимальные значения имеют эмалево-дентинные (ЭД) соединения (кривые 1, 2). Причем значение I для поверхности ЭД-соединения зубов пациентов младшей возрастной группы (кривая 1) достигает максимума на длине волны $\lambda=435$ нм и соответствует 85 %. Максимальное значение I для ЭД-соединения зубов пациентов старшей возрастной группы (кривая 2) зарегистрировано при $\lambda=436$ нм и соответствует 79 %. В связи с тем, что многие молекулы в ЭД-соединениях являются естественными флуорофорами и в большом количестве сосредоточены в этой области зуба, интенсивность флуоресценции этих биологических объектов имеет максимальные значения. Спектральная кривая 1 превышает в максимуме кривую 2 на 6 %. Такие высокие значения интенсивности флуоресценции ЭД-соединений обусловлены большим содержанием триптофана в этой области зуба. Графические зависимости слабо- и сильноминерализованных тканей похожи по форме, явно выраженные сдвиги не наблюдаются.

Спектры флуоресценции дентина у разных возрастных групп имеют меньшую флуоресцентную активность, чем ЭД-соединения, так как происходит „гашение“ интенсивности флуоресценции пигментной составляющей в этой области зуба. Так, максимальное значение интенсивности флуоресценции дентина у пациентов младшей возрастной группы выше, чем у пациентов старшей группы на 10 % (кривые 3, 4). Пик кривой 3 зарегистрирован при $\lambda=436$ нм и составил 70 %, а кривой 4 — на той же длине волны, но максимальное значение I смещено ниже (60 %). Амплитуда кривой 3 превосходит амплитуду кривой 4, так как в дентине у пациентов младшей возрастной группы больше органических компонентов.

Исследования флуоресцентной активности эмали (кривые 5, 6) показывают, что для этих твердых тканей зуба характерными признаками являются низкие значения интенсивности флуоресценции. Спектральные кривые 5 и 6 отличаются друг от друга, что доказывает разный спектр флуоресценции эмали. Низкая флуоресцентная активность эмали по сравнению с дентином объясняется, возможно, особенностями структурного состава тканей: эмаль содержит в среднем 0,5...2,0 мас. % органических веществ, дентин — 18 мас. %. Возрастная минерализация эмали, сопровождающаяся снижением содержания органических веществ, может приводить к уменьшению интенсивности флуоресценции.

Исследование оптических свойств пломбирочных материалов показало разную интенсивность флуоресценции — спектральные зависимости приведены на рис. 2: 1 — „Estelite Asteria A2B“, 2 — „Estelite Asteria OcE“, 3 — „Filtek Ultimate flowable A2“, 4 — „Filtek Ulti-

mate flowable OA2“, 5 — „Harmonize A 2 enamel“, 6 — „Harmonize A 2 dentin“. У композитов „Estelite Asteria A2B“ и „Estelite Asteria OcE“ зарегистрированы самые высокие значения флуоресценции (кривые 1, 2), максимумы на длине волны 438 и 452 нм, что составляет 85 и 63 %. Такие высокие значения спектров испускания этих композитов свидетельствуют о большом количестве введенных в материал флуорофоров.

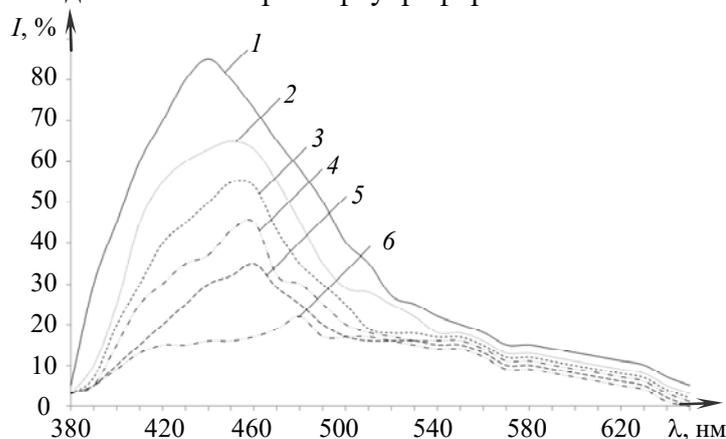


Рис. 2

Максимум флуоресценции у гелеобразного композита „Filtek Ultimate flowable A2“ (кривая 3) составляет 53 % при $\lambda=457$ нм, а у той же марки материала „Filtek Ultimate flowable OA2“ другого оттенка (кривая 4) — 44 % при $\lambda=459$ нм. В этих композитах наблюдается падение интенсивности флуоресценции, так как в них содержится небольшое количество флуорофоров. По спектральным зависимостям видно, что композиты сбалансированы на достаточно хорошем уровне и их спектральный диапазон соответствует нежно-голубому цвету.

Последние два композита „Harmonize A 2 enamel“, „Harmonize A 2 dentin“ (кривые 5, 6) характеризуются относительно низкой интенсивностью флуоресценции, хотя максимальные значения спектров испускания зарегистрированы на длинах волн 460 и 481 нм, что соответствует голубому цвету.

Заключение. Согласно результатам исследования, для пациентов разных возрастных групп интенсивность флуоресценции ЭД-соединений самая высокая, при этом наблюдается наибольшая зависимость от длин волн в диапазоне 410...480 нм, что соответствует сине-голубому цвету. При реставрационных работах на границе опак — эмаль твердых тканей зуба для пациентов младшей возрастной группы целесообразно применять композиты „Estelite Asteria A2B“, „Estelite Asteria OcE“, которые имитируют богатое флуорофорами ЭД-соединение. При изготовлении эстетических конструкций для пациентов старшей возрастной группы следует использовать композиты с низкой интенсивностью флуоресценции, например, „Filtek Ultimate flowable A2“, „Filtek Ultimate flowable OA2“.

Рассмотренные пломбировочные материалы удовлетворяют требованиям по выполнению эстетической реставрации на твердых тканях зуба для пациентов разных возрастных групп. Полученные результаты представляют интерес для терапевтической стоматологии и оптического приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцкая И. К. Практическая стоматология. Минск: Бел. наука, 1999. 360 с.
2. Прокопенко В. Т., Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Хохлова М. В., Туровская М. С., Ушакова А. С., Дагаев А. В. Применение сканирующей интерферометрии в низкокогерентном свете для измерения *in vivo* деминерализованных областей эмали под десной // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 2. С. 128—135. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-2-128-135.

3. Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Попова Н. Э., Коцкович А. В., Дагаев А. В., Хайдаров Г. Г., Хайдаров А. Г., Писарева Е. А. Исследование кариеса на ранней стадии образования когерентной сканирующей интерферометрией в низкокогерентном свете // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 11. С. 25—30. DOI: 10.25791/pribor.11.2018.000.
4. Принсгейм П. Флуоресценция и фосфоресценция. М.: Изд-во иностр. лит., 1951. 623 с.
5. Левшин В. Л. Фотолюминесценция жидких и твердых веществ. М. — Л.: Гостехтеориздат, 1951. 456 с.
6. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986. 496 с.
7. Eisinger J., Flares I. Front-Face fluorometry of liquid // Analytical Biochemistry. 1979. Vol. 94. P. 15.
8. Александров М. Т. Изучение интенсивности флуоресценции интактных и патологически измененных тканей зуба // Новое в стоматологии. 2000. № 1. С. 26—32.
9. Радлинский С. Свойство флуоресценции реставрационного зуба // ДентАрт. 2007. № 4. С. 42—48.
10. Пархамович С. Н., Тюкова Е. А., Минчук С. А. Оптическое восприятие композиционных реставраций в ультрафиолетовом свете // Современная стоматология. 2014. № 2. С. 77—79.
11. Луцкая И. К., Марченко Е. И., Чухрай И. Г. Эстетическое пломбирование некариозных дефектов твердых тканей зуба // Современная стоматология. 2012. № 1. С. 29—31.
12. Новак Н. В. Флуоресценция зубов и пломбировочных материалов // Проблемы здоровья и экологии. 2009. С. 67—71.
13. Котов И. Р., Майоров Е. Е., Хопов В. В. Интерферометрические исследования биологических объектов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2004. № 15. С. 70—72.
14. 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.
15. Левин Б. Оптические свойства реставраций, или что беспокоит пациентов? // ДентАрт. 2004. № 4. С. 30—33.
16. Майоров Е. Е., Попова Н. Э., Шаламай Л. И., Цыганкова Г. А., Черняк Т. А., Пушклина В. П., Писарева Е. А., Дагаев А. В. Цифровая голографическая интерферометрия как высокоточный инструмент в стоматологии // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 10. С. 249—256.
17. Майоров Е. Е., Машек А. Ч., Цыганкова Г. А., Писарева Е. А. Исследование спектрофотометра ультрафиолетовой области длин волн для анализа спектров пропускания дисперсных сред // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 4. С. 357—365.
18. Майоров Е. Е., Туровская М. С., Литвиненко А. Н., Черняк Т. А., Дагаев А. В., Пономарев С. Е., Курлов В. В., Катунин Б. Д. Исследование разработанного спектрофотометра для ультрафиолетовой области спектра и его технико-экономическое обоснование // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 7. С. 38—43.
19. 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.
20. Майоров Е. Е., Туровская М. С., Шаламай Л. И., Черняк Т. А., Хохлова М. В., Таюрская И. С., Константинова А. А., Арефьев А. В. Обработка интерференционного сигнала, отраженного от биологического объекта методом дифференцирования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. № 11. С. 23—31. DOI: 10.25791/pribor.11.2019.1003.
21. Прокопенко В. Т., Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Хохлова М. В., Катунин Б. Д., Капралов Д. Д. Исследование in vivo минерализованных областей эмали под десной с помощью интерферометрического прибора // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 7. С. 641—646. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-641-646.
22. Шаламай Л. И., Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е., Мендоса Е. Ю., Сакерина А. И., Нарушак Н. С. Исследование оптических свойств твердых тканей зуба и композитных материалов посредством фотометрического анализа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 8. С. 11—17. DOI: 10.25791/pribor.08.2020.1196.

23. 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.

Сведения об авторах

- Диана Алексеевна Кузьмина** — д-р мед. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра стоматологии; E-mail: dianaspb@rambler.ru
- 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
- Елена Юрьевна Мендоса** — Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, кафедра клинической стоматологии; ассистент; E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com
- Евгений Евгеньевич Майоров** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, кафедра информационных технологий и математики; E-mail: majorov_ee@mail.ru
- Надежда Сергеевна Нарушак** — Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, кафедра стоматологии терапевтической и пародонтологии; старший лаборант; E-mail: 9811680171@mail.ru

Поступила в редакцию
30.09. 2020 г.

Ссылка для цитирования: 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.

APPLICATION OF FLUORESCENCE SPECTROSCOPY FOR *in vitro* ANALYSIS OF FILLING MATERIALS AND HARD TOOTH TISSUES

**D. A. Kuzmina¹, L. I. Shalamay², E. Yu. Mendosa³,
E. E. Maiorov⁴, N. S. Narushak²**

¹*St. Petersburg State University, 199034, St. Petersburg, Russia*

²*Pavlov University, 197022, St. Petersburg, Russia*

³*A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry,
127473, Moscow, Russia*

⁴*St. Petersburg University of Management Technologies and Economics,
190103, St. Petersburg, Russia
E-mail: majorov_ee@mail.ru*

The method of fluorescence spectroscopy is considered as a high-precision and informative tool for measuring the optical properties of biological and synthetic objects. An automated luminescence spectrometer SDL-2 for determining the fluorescence spectra of the materials under study is presented. The fluorescence spectra of 50 samples of composite materials of hard tissues of teeth of 50 patients of different age groups are obtained. Optical characteristics of the enamel-dentin junction, dentin and enamel are investigated. According to the results of comparative analysis of filling materials, it is revealed that the composites "Estelite Asteria A2B" and "Estelite Asteria OcE" are superior in optical properties to other materials. Recommendations for the use of each material separately are given.

Keywords: fluorescence spectroscopy, intensity, therapeutic dentistry, aesthetics, composite material, teeth, wavelength

REFERENCES

1. Lutsкая I.K. *Prakticheskaya stomatologiya* (Practical Dentistry), Minsk, 1999, 360 p. (in Russ.)
2. Maiorov E.E., Prokopenko V.T., Shalamay L.I., Khokhlova M.V., Turovskaya M.S., Ushakova A.S., Dagaev A.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. 2(62), pp. 128–135, DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-2-128-135. (in Russ.)
3. Maiorov E.E., Shalamay L.I., Popova N.E., Kotskovich A.V., Dagaev A.V., Khaidarov G.G., Khaidarov A.G., Pisareva E.A. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2018, no. 11, pp. 25–30, DOI: 10.25791/pribor.11.2018.000. (in Russ.)

4. Pringsheim P. *Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie*, Berlin, Verlag von Julius Springer, 1921, pp. VIII + 202.
5. Levshin V.L. *Fotoluminescenciya zhidkikh i tverdykh veshchestv* (Photoluminescence of Liquid and Solid Substances), Moscow, Leningrad, 1951, 456 p. (in Russ.)
6. Lakowicz J.R. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999, 698 p.
7. Eisinger J., Flares I. *Anal. Biochema*, 1979, vol. 94, pp. 15.
8. Aleksandrov M.T. *New in dentistry*, 2000, no. 1, pp. 26-32. (in Russ.)
9. Radlinskiy S. *DentArt*, 2007, no. 4, pp. 42–48. (in Russ.)
10. Parkhamovich S.N., Tyukova E.A., Minchuk S.A. *Sovremennaya stomatologiya*, 2014, no. 2, pp. 77–79. (in Russ.)
11. Lutskaya I.K., Marchenko E.I., Chukhrai I.G. *Sovremennaya stomatologiya*, 2012, no. 1, pp. 29–31. (in Russ.)
12. Novak N.V. *Problemy zdorov'ya i ekologii*, 2009, pp. 67–71. (in Russ.)
13. Majorov E.E., Kotov I.R., Khopov V.V. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2004, no. 15, pp. 70–72. (in Russ.)
14. 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.
15. Levin B. *DentArt*, 2004, no. 4, pp. 30–33. (in Russ.)
16. Maiorov E.E., Popova N.E., Shalamay L.I., Tsygankova G.A., Chernyak T.A., Pushkina V.P., Pisareva E.A., Dagaev A.V. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2018, no. 10, pp. 249–256. (in Russ.)
17. Maiorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Pisareva E.A. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2018, no. 4, pp. 357–365. (in Russ.)
18. Maiorov E.E., Turovskaya M.S., Litvinenko A.N., Chernyak T.A., Dagaev A.V., Ponomarev S.E., Kurlov V.V., Katunin B.D. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2018, no. 7, pp. 38–43. (in Russ.)
19. 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.
20. Maiorov E.E., Turovskaya M.S., Shalamay L.I., Chernyak T.A., Khokhlova M.V., Tayurskaya I.S., Konstantinova A.A., Arefiev A.V. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2019, no. 11, pp. 23–31, DOI: 10.25791/pribor.11.2019.1003.
21. Prokopenko V.T., Maiorov E.E., Shalamay L.I., Khokhlova M.V., Katunin B.D., Kapralov D.D. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. (62), pp. 641–646, DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-641-646.
22. Shalamay L.I., Kuzmina D.A., Maiorov E.E., Mendosa E.Yu., Sakerina A.I., Narushak N.S. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2020, no. 8, pp. 11–17, DOI: 10.25791/pribor.08.2020.1196. (in Russ.)
23. 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.)

Data on authors

- | | |
|-----------------------------|--|
| Diana A. Kuzmina | — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University, Department of Dentistry; E-mail: dianaspb@rambler.ru |
| Lyudmila I. Shalamay | — PhD, Associate Professor; Pavlov University, Department of Dentistry Therapeutic and Periodontology; E-mail: l.shalamay@mail.ru |
| Elena Yu. Mendosa | — A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Department of Clinical Dentistry; Assistant; E-mail: mendosaMSUMD@gmail.com |
| Evgeny E. Maiorov | — PhD, Associate Professor; St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, Department of Information Technologies and Mathematics; E-mail: majorov_ee@mail.ru |
| Nadezhda S. Narushak | — Pavlov University, Department of Dentistry Therapeutic and Periodontology; Senior Assistant; E-mail: 9811680171@mail.ru |

For citation: Kuzmina D. A., Shalamay L. I., Mendosa E. Yu., Maiorov E. E., Narushak N. S. Application of fluorescence spectroscopy for *in vitro* analysis of filling materials and hard tooth tissues. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 7. P. 576—582 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-576-582