https://doi.org/10.17116/rosstomat20251801130

Исследование влияния температуры и времени отверждения на оптические свойства композиционных материалов методом абсорбционной спектроскопии

© Л.И. ШАЛАМАЙ[1], Е.Ю. МЕНДОСА[2], Е.Е. МАЙОРОВ[3], В.Б. ЛАМПУСОВА[1], Н.С. ОКСАС[1], С.А. КОСОВ[1]

[1]ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;
[2]ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия;
[3]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Настоящая работа посвящена исследованию влияния температуры и времени отверждения на оптические свойства композиционных материалов методом абсорбционной спектроскопии. Использование спектрофотометров для изучения оптических свойств композиционных материалов является перспективным методом, т.к. эти приборы представляют достоверную, надежную и высокоточную информацию об исследуемом объекте. В работе определена цель исследований, поставлена задача и приведены объекты и метод измерений. Приведены оптическая схема и технические параметры прибора. Получены спектральные зависимости коэффициента поглощения K(λ) образцов Estelite Asteria оттенка B3B при разном времени экспозиции и при разной температуре. Выявлено, что время экспозиции (t=10 с, t=20 с) и температура (T=0°C, T=36,5°C, T=47°C) не влияют на оптическое качество реставраций.

Материал и методы. Измерялись светоотверждаемые рентгеноконтрастные композиционные материалы, предназначенные для создания реставраций для полостей всех классов твердых тканей зубов фирмы Tokuyama Dental (Япония): Estelite Asteria оттенка B3B при температурах 0, 36,5, 47°C и времени экспозиции 10 и 20 с. Для проведения экспериментальных исследований использовался спектрофотометр UV-3600i Plus компании Shimadzu (Япония).

Результаты и обсуждение. Полученные оптические параметры для материала Estelite Asteria оттенка B3B при времени экспозиции t=10 с, t=20 с и температуре: T=0°C, T=36,5°C, T=47°C значимы для терапевтической стоматологии.

Заключение. Эти данные показывают, как меняется структура материала (кристаллическая решетка) и что происходит на атомно-молекулярном уровне.

Ключевые слова: *спектрофотометр, коэффициент поглощения, терапевтическая стоматология, температура, время экспозиции.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Шаламай Л.И. — https://orcid.org/0000-0002-7205-1320
Мендоса Е.Ю. — https://orcid.org/0000-0001-7517-4361
Майоров Е.Е. — https://orcid.org/0000-0002-7634-1771
Лампусова В.Б. — https://orcid.org/0000-0002-5063-4605
Оксас Н.С. — https://orcid.org/0000-0002-1644-6141
Косов С.А. — https://orcid.org/0000-0002-9665-5196
Автор, ответственный за переписку: Майоров Е.Е. — e-mail: majorov_ee@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Шаламай Л.И., Мендоса Е.Ю., Майоров Е.Е., Лампусова В.Б., Оксас Н.С., Косов С.А. Исследование влияния температуры и времени отверждения на оптические свойства композиционных материалов методом абсорбционной спектроскопии. *Российская стоматология*. 2025;18(1):30–35. https://doi.org/10.17116/rosstomat20251801130

Investigation of the effect of temperature and curing time on the optical properties of composite materials by absorption spectroscopy

© L.I. SHALAMAI[1], E.Yu. MENDOSA[2], E.E. MAIOROV[3], V.B. LAMPUSOVA[1], N.S. OKSAS[1], S.A. KOSOV[1]

[1]Academician I.P. Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russia;
[2]Russian University of Medicine of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia;
[3]Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

Relevance. This work is devoted to the study of the effect of temperature and curing time on the optical properties of composite materials by absorption spectroscopy. It is promising to use spectrophotometers to study the optical properties of composite materials, since these devices provide reliable, reliable and highly accurate information about the object under study. The purpose of the research is defined, the task is set and the objects and method of measurements are given. The optical scheme and technical

parameters of the device are given. Spectral dependences of the absorption coefficient K(λ) of «Estelite Asteria» samples of the B3B hue were obtained at different exposure times and at different temperatures. It was revealed that the exposure time (t=10 s, t=20 s) and temperature (T=0°C, T=36.5°C, T=47°C) do not affect the quality of restorations.
Material and methods. Light-curing X-ray contrast composite materials were measured, designed to create restorations for cavities of all classes of hard dental tissues from Tokuyama Dental (Japan): Estelite Asteria shade B3B at temperatures: T=0°C, T=36.5°C, T=47°C and exposure time: 10 s and 20 s. A UV-3600i Plus spectrophotometer from Shimadzu (Japan) was used to conduct experimental studies.
Results and discussion. The obtained optical parameters for the Estelite Asteria material of B3B shade at exposure time t=10 s, t=20 s and temperature: T=0°C, T=36.5°C, T=47°C are significant for therapeutic dentistry.
Conclusion. These data show how the structure of the material (crystal lattice) changes and what happens at the atomic and molecular level.

Keywords: *spectrophotometer, absorption coefficient, therapeutic dentistry, temperature, exposure time.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Shalamai L.I. — https://orcid.org/0000-0002-7205-1320
Mendosa E.Yu. — https://orcid.org/0000-0001-7517-4361
Maiorov E.E. — https://orcid.org/0000-0002-7634-1771
Lampusova V.B. — https://orcid.org/0000-0002-5063-4605
Oksas N.S. — https://orcid.org/0000-0002-1644-6141
Kosov S.A. — https://orcid.org/0000-0002-9665-5196
Corresponding author: Maiorov E.E. — e-mail: majorov_ee@mail.ru

To CITE THIS ARTICLE:
Shalamai LI, Mendosa EYu, Maiorov EE, Lampusova VB, Oksas NS, Kosov SA. Investigation of the effect of temperature and curing time on the optical properties of composite materials by absorption spectroscopy. *Russian Journal of Stomatology*. 2025;18(1):30–35. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/rosstomat20251801130

Актуальность

Оптико-механические, оптико-электронные и технологии компьютерной оптики занимают одно из ведущих мест в отечественной науке и технике, а также приборостроительной промышленности [1]. Оптические приборы и комплексы находят широкое применение в различных направлениях деятельности человека: в научных исследованиях, на современных производствах, при создании различных конструкций, в искусстве, биологии, медицине и т.д. [2]. В зависимости от реализации этих приборов и комплексов определяется место человека при эксплуатации. Если экспериментатор использует свое зрение, то приборы содержат в основном оптические и механические узлы [3]. При работе прибора без участия экспериментатора световая энергия преобразуется в электрическую посредством различных фотоприемных устройств [4]. В процессе сбора и обработки светового излучения устройство формирует сигнал, который используется для выполнения функциональной задачи прибора или комплекса. Как правило, такие приборы и комплексы имеют сложные оптико-электронные и цифровые системы и элементы автоматического управления [5]. Совершенствование микроэлектроники и компьютерной техники явилось новой ступенью развития современных оптических приборов и комплексов. Среди многообразия оптических приборов и комплексов особое внимание заслуживают спектральные приборы. Они имеют большую востребованность в машиностроении, химии, биологии, медицине и многих других областях науки и техники.

В последние годы разработчики спектральных приборов и комплексов стараются максимально разгружать оптические системы приборов, устанавливая диспергирующий элемент не в параллельных, а в расходящихся или в сходящихся световых пучках. Именно вогнутая дифракционная решетка исключила коллиматорный и фокусирующий объективы, взяв их функции на себя. Изменения коснулись и осветительной системы спектральных приборов: переход от линзовых конденсоров к зеркальным позволил уменьшить погрешность измерений, повысить чувствительность измерений в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра [6]. Современные спектрофотометры позволили добиться определенных успехов в исследовании новейших стоматологических композитных материалов. Их технические характеристики удовлетворяют требованиям анализа для твердофазных, жидкофазных и газообразных сред [7]. Анализ научно-технических источников показал, что спектрофотометры разных производителей активно используются для выявления оптических свойств новых композиционных материалов. Современные композитные материалы имеют хорошую биологическую совместимость, долговечность, функциональность, высокую эстетичность благодаря развитию оптических технологий и совершенствованию физико-химических и оптических свойств материалов [8]. Перспективно использовать спектрофотометры для изучения оптических свойств композиционных материалов, т.к. эти приборы представляют достоверную, надежную и высокоточную информацию об исследуемом объекте.

Поэтому представляет интерес исследование влияния температуры и времени отверждения на оптические свойства композиционных материалов методом абсорбционной спектроскопии [9]. Измерение композиционных материалов при разных температурах и времени экспозиции спектрофотометром и явилось **целью** настоящей **работы**.

Материал и методы

Измерялись светоотверждаемые рентгеноконтрастные композиционные материалы, предназначенные для созда-

ния реставраций для полостей всех классов твердых тканей зубов (Tokuyama Dental, Япония): Estelite Asteria оттенка B3B при температурах 0, 36,5, 47°C и времени экспозиции 10 и 20 с. Оттенок Estelite Asteria B3B применяют для восстановления дентинного слоя и всей области эмали, за исключением режущего края. Объекты для измерений были предоставлены ООО «Центр имплантации и комплексного лечения» г. Санкт-Петербург.

Для проведения экспериментальных исследований использовался спектрофотометр UV-3600i Plus (Shimadzu, Япония).

Этот спектрофотометр способен решать сложные задачи как на производстве, так и в научно-исследовательских лабораториях, проводить экологический мониторинг, измерять биологические и медицинские объекты, анализировать оптические свойства дисперсных сред. Уникальность данного прибора состоит в том, что он способен проводить анализ в широком диапазоне длин волн и, в отличие от своих предшественников, имеет фотоприемные устройства, работающие в своем оптическом диапазоне. К прибору прилагаются дополнительные устройства (интегрирующие сферы, приставки зеркального отражения и поляризаторы), что расширяет область исследований.

На **рис. 1** представлена оптическая схема спектрофотометра.

Согласно рис. 1 мы видим, что световой пучок от источника света WI или D2 зеркало M1 направляется на щель S1. Пройдя S1, попадает на зеркало M2 промежуточного монохроматора. M2 направляет излучение на пару голографических дифракционных решеток; свет, отразившись от G1 и G2, проходит S2, направляясь к M3. M3 доставляет световой пучок к G3 и G4. Затем световой пучок попадает на M4, отразившись, проходит S3 и направляется в систему зеркал M5—M9. Отсекающее зеркало (оптический затвор) направляет световой пучок в объектный Smp и опорный Ref каналы измерений. В зависимости, в каком диапазоне длин волн ведется измерение, туда и направляются световые лучи.

Результаты и обсуждение

Для получения оптических параметров исследуемых объектов необходимо было их правильно зафиксировать в окошке объектного канала измерений. Объекты не должны были иметь диаметры более 15 мм, а толщина их должна была со-

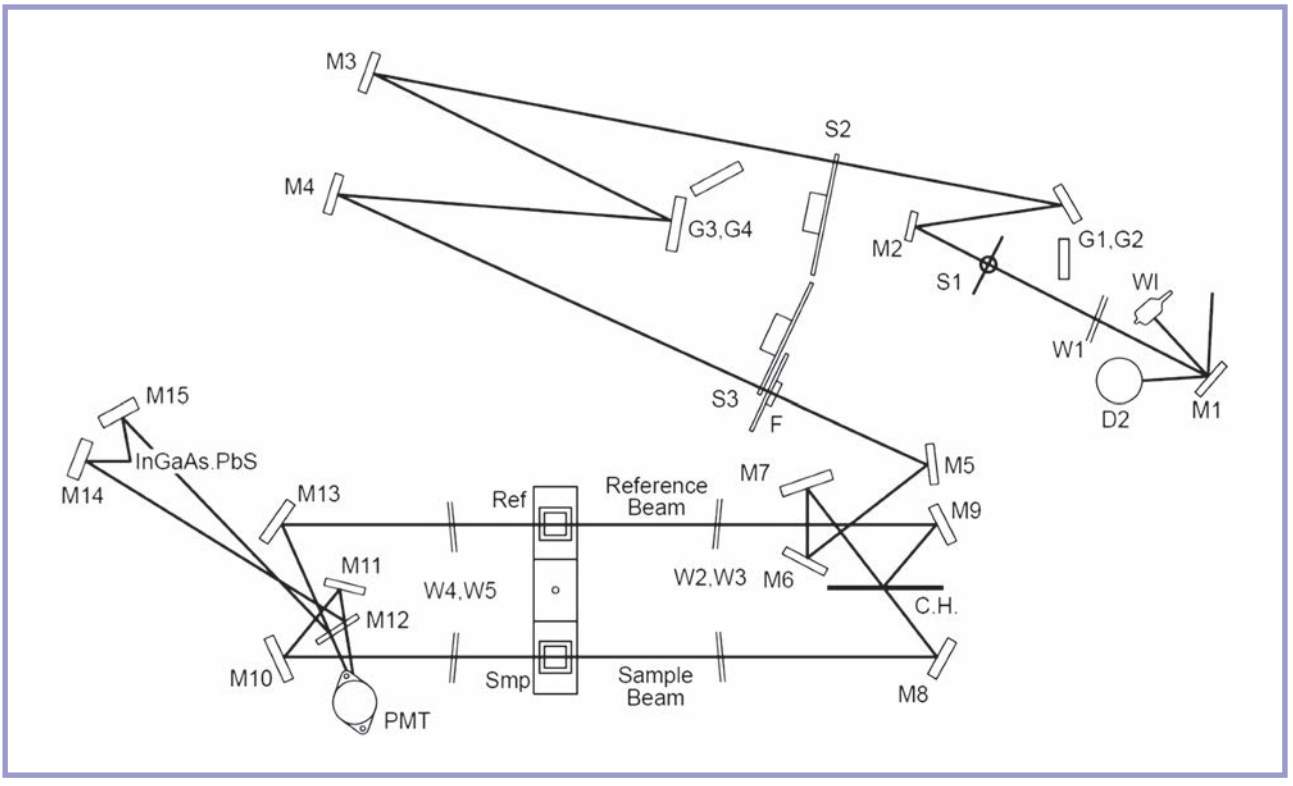


***Рис. 1.* Оптическая схема спектрофотометра UV-3600i Plus.**
WI — галогенная лампа; D2 — дейтериевая лампа; M1—M15 — отражающие зеркала; S1 — входная щель; S2 — промежуточная щель; S3 — выходная щель; G1 и G2 — голографические дифракционные решетки первого монохроматора; G3 и G4 — голографические дифракционные решетки второго монохроматора; F — фильтр; C.H. — отсекающее зеркало; W1—W3 — окошки диаметром 30 мм; W4 и W5 — окошки диаметром 40 мм; Ref — сторона образца сравнения; Smp — сторона измеряемого образца; PMT — фотоэлектронный умножитель.

***Fig. 1.* Optical scheme of the «UV-3600i Plus» spectrophotometer.**
WI — halogen lamp; D2 — deuterium lamp; M1—M15 — reflective mirrors; S1 — input slit; S2 — intermediate slit; S3 — output slit; G1 and G2 — holographic diffraction gratings of the first monochromator; G3 and G4 — holographic diffraction gratings of the second monochromator; F — filter; C.H. — cutting mirror; W1—W3 — windows with a diameter of 30 mm; W4 and W5 — windows with a diameter of 40 mm; Ref — side of the comparison sample; Smp — side of the measured sample; PMT — photoelectronic multiplier.

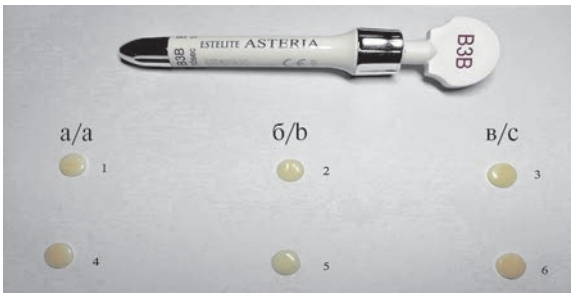


***Рис. 2*. Изготовленные образцы для исследований Estelite Asteria оттенка B3B.**
а) при 0 °С: 1 — 10 с, 4 — 20 с; б) при 36,5 °С: 2 — 10 с, 5 — 20 с ; в) при 47 °С: 3 — 10 с, 6 — 20 с.

***Fig. 2*. Manufactured samples for the study of «Estelite Asteria» shade B3B.**
a) at 0 c: 1 — 10 s, 4 — 20 s; b) at 36.5°**C**: 2 — 10 s, 5 — 20°**C**; C) at 47 c: 3 — 10 s, 6 — 20°**C**.

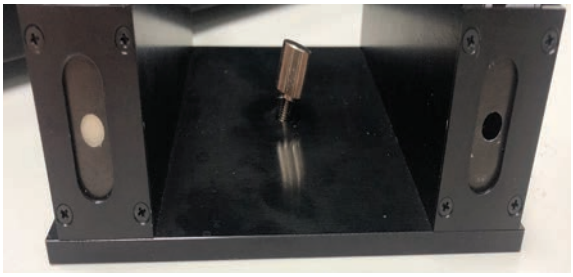


***Рис. 3*. Устройство каналов измерения спектрофотометра UV-3600i Plus с исследуемым образцом.**

***Fig. 3*. Device for measuring channels of the UV-3600i Plus spectrophotometer with the test sample.**

ставлять не более 400 мкм. Поэтому материалы изготавливались в специальных контейнерах, которые придавали форму плоского диска диаметром 10 мм и толщиной 400 мкм. Материал одного и того же оттенка имел разные температуры (T=0°C, T=36,5°C, T=47°C). Каждый исследуемый объект подвергался облучению светодиодной (LED) лампой, работающей в диапазоне длин волн от 400 до 500 нм, а время отверждения (экспозиции) было разным (t=10 с и t=20 с). На **рис. 2** представлены объекты для исследований.

Исследуемые образцы фиксировались в металлическом окошке прижимным механизмом. Металлическое окошко с образцом устанавливалось в объектном канале измерений таким образом, чтобы через центр окошка проходил световой луч, облучая образец. На **рис. 3** показано устройство каналов измерений спектрофотометра UV-3600i Plus, где представлен образец в объектном канале.

Результаты измерений оптических параметров исследуемых объектов при разных температурах и времени экспозиции показаны на **рис. 4 и 5**.

При времени экспозиции t=10 с и температуре T=0°C, T=36,5°C, T=47°C распределения коэффициента поглощения от длины волны (K(λ)) на участке длин волн 200...600 нм практически не отличались. Можно отметить незначительный всплеск K(λ) у образца, нагретого до 47°C на λ=485 нм. Принципиальных отклонений кривых друг от друга на этом участке не было зафиксировано. Что касается длинноволновой

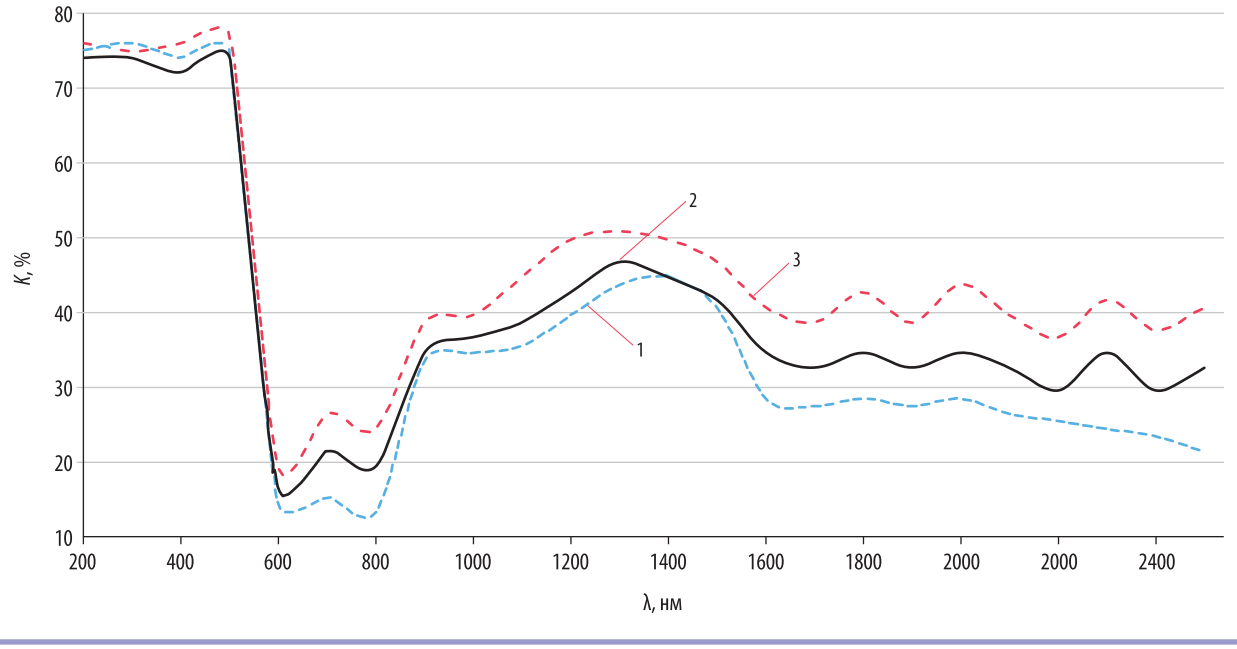


***Рис. 4*. Спектральные зависимости коэффициента поглощения K(λ) образцов Estelite Asteria оттенка B3B при времени экспозиции t=10 с: 1 — T=0 °C; 2 — T=36,5 °C; 3 — T=47 °C.**

***Fig. 4*. Spectral dependences of the absorption coefficient K (λ) of the exemplary «Estelite Asteria» shade B3B at time exposures t=10 s: 1 — T=0 °C; 2 — T=36,5 °C; 3 — T=47 °C.**

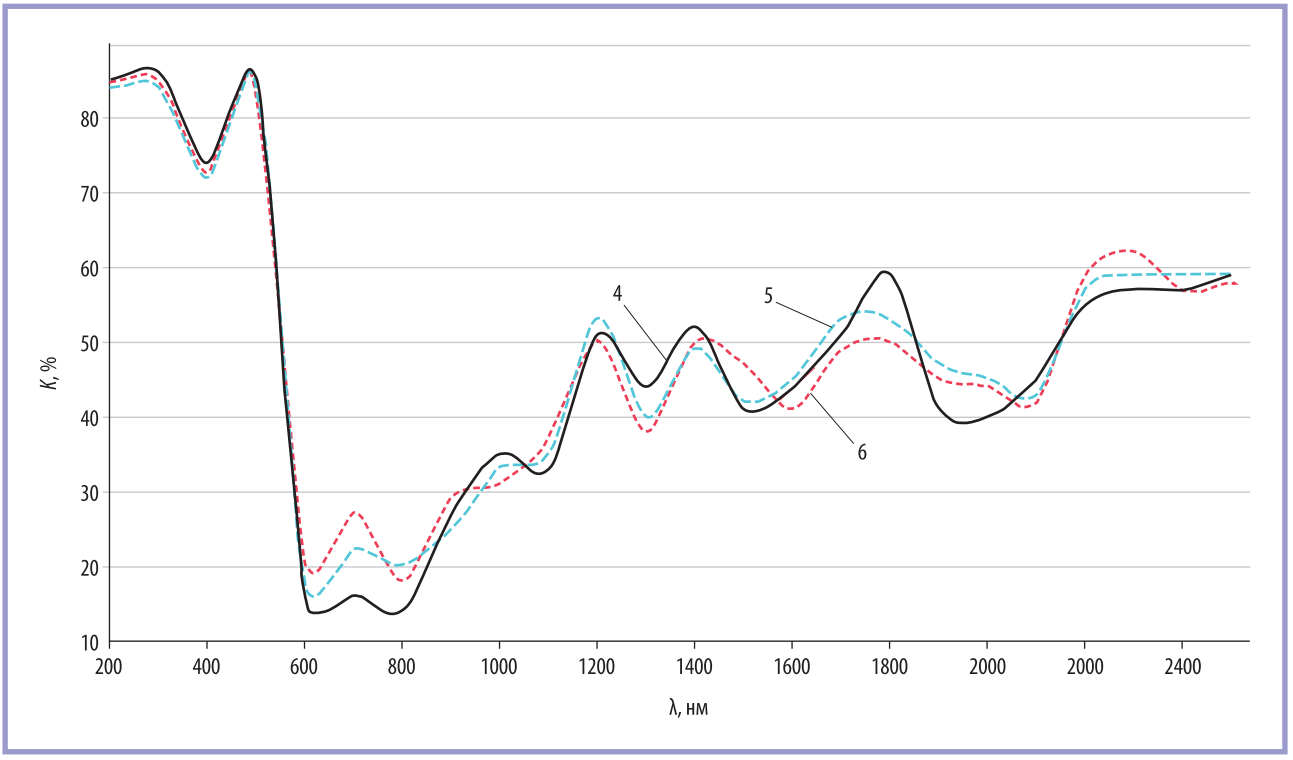


***Рис. 5*. Спектральные зависимости коэффициента поглощения K(λ) образцов Estelite Asteria оттенка B3B при времени экспозиции t=20 с: 4 — T=0 °C; 5 — T=36,5 °C; 6 — T=47 °C.**

***Fig. 5*. Spectral dependences of the absorption coefficient K (λ) of the exemplary Estelite Asteria shade B3B at time exposures t=20 s: 4 — T=0 °C; 5 — T=36,5 °C; 6 — T=47 °C.**

области спектра от 600...2500 нм, то максимум K(λ) определен у нагретого материала (T=47°C). Отличие кривых (1, 2, 3) на этом участке длин волн можно объяснить тем, что при нагревании образца значение колебаний связей растет.

При времени экспозиции t=20 с и температуре: T=0°C, T=36,5°C, T=47°C кривые K(λ) (4, 5, 6) в области длин волн 200...600 нм не отличались друг от друга. В длинноволновой области спектра 600...2500 нм формы кривых (4, 5, 6) носили сложный характер. Видимо, это связано с термодинамическими характеристиками материалов.

Исследование длинноволновой области спектра представленных материалов, безусловно, актуально, оно демонстрирует, что устойчивость к свету рабочего светильника стоматологической установки композитного материала практически не зависит от его температуры. Для терапевтической стоматологии значимы дальняя и ближняя ультрафиолетовые области, т.к. в этих областях происходит полимеризация данных образцов. И от того, каким образом будет менять свое агрегатное состояние представленный материал, зависит качество реставраций.

Заключение

Полученные оптические параметры для материала Estelite Asteria оттенка B3B при времени экспозиции t=10 с, t=20 с и при температуре T=0 °C, T=36,5 °C, T=47 °C значимы для терапевтической стоматологии. Эти данные показывают, как меняется структура материала (кристаллическая решетка) и что происходит на атомно-молекулярном уровне. Выявлено, что время экспозиции (t=10 с, t=20 с) и температура (T=0 °C, T=36,5 °C, T=47 °C) не влияют на оптическое качество реставраций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970;855
Born M, Wolf E. Fundamentals of Optics. Moscow: Nauka; 1970;855
2. Тарасов К.И. Спектральные приборы. М.: Машиностроение; 1968;389
Tarasov KI. Spectral devices. M.: Mechanical engineering; 1968.389
3. Мелкумян Т.В., Шералиева С.Ш, Мендоса Е.Ю. и др. Влияние предварительного нагрева на механические свойства различных коммерчески доступных стоматологических композитов // *Междунар. журнал биомедицины*. 2023;13(4):317-322.
Melkumyan TV, Sheraliava SSh, Mendosa EYu, et al. Effect of Preheating on Mechanical Properties of Different Commercially Available Dental Resin Composites. *International Journal of Biomedicine*. 2023;13(4):317-322. (In Russ.). https://doi.org/10.21103/Article13(4)_OA14
4. Федоров Ю.А., Дрожжина В.А., Чернобыльская П.М., Рубежова Н.В. Особенности диагностики и новые принципы лечения некариозных поражений зубов // *Новое в стоматологии*. 1996;3(44):10-12.

Fedorov YuA, Drozhzhina VA, Chernobylskaya PM, Rubezhova NV. Features of diagnostics and new methods of treatment of non-carious lesions of the teeth. *New in dentistry*. 1996;3(44):10-12. (In Russ.)

5. Крихели Н.И., Бычкова М.Н., Залесская Т.И., Никитин А.Д. Оценка напряженно-деформированного состояния твердых тканей зуба методом конечных элементов // *Рос. стоматология*. 2021;14(1):44-46.
Krikheli NI, Bychkova MN, Zalesskaia TI, Nikitin AD. Assessment of the state of the deformed state of tooth tissues by the finite element method. *Russian Journal of Stomatology*. 2021;14(1):44-46. (InRuss.).
https://doi.org/10.17116/rosstomat20211401131

6. Иорданишвили А.К., Пихур О.Л., Черный Д.А. Клиновидные дефекты зубов у взрослых людей разных возрастных групп: ремарки к профилактике и лечению // *Стоматология*. 2017;96(3):14-17.
Iordanishivili AK, Pihur OL, Cherni DA. Teeth wedge-shaped defects in adults of different age groups: remark to prevention and treatment. *Stomatology*. 2017;96(3):14-17. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/stomat201796314-17

7. Кузьмина Д.А., Мендоса Е.Ю., Шаламай Л.И. и др. Применение метода спектроскопии для исследования образцов тканей зуба *in vitro* и стоматологических фотополимеров // *Стоматология для всех*. 2021; 4(97):4-9.
Kuzmina DA, Mendosa EYu, Shalamay LI, et al. Application of the spectroscopy method for the study of dental tissue samples in vitro and dental photopolymers//*Stomatology for All/Int. Dental Review*. 2021; 4(97):4-9. (In Russ.).
https://doi.org/10.35556/idr-2021-4(97)4-9

8. Кузьмина Д.А., Мендоса Е.Ю., Майоров Е.Е. и др. Экспериментальные исследования оптических свойств твердых тканей передних зубов и современных синтетических пломбировочных материалов // *Стоматология для всех*. 2020;4(93):58-62.
Kuzmina DA, Mendosa EYu, Maiorov EE, et al. Experimental studies of optical properties of hard tissues of anterior teeth and modern synthetic filling materials. *Stomatology for for All/Int. Dental Review*. 2020;4(93):58-62 (In Russ.).
https://doi.org/10.35556/idr-2020-4(93)58-62

9. Шаламай Л.И., Мендоса Е.Ю., Майоров Е.Е. и др. Исследование новых светоотверждаемых композитных стоматологических материалов методом атомно-абсорбционной спектроскопии // *Стоматология для всех*. 2023; №3(104): 46-52.
Shalamay LI, Mendosa EYu, Maiorov EE, et al. Investigation of new light-cured composite dental materials by atomic absorption spectroscopy//*Stomatology for All/Int. Dental Review*. 2023;3(104):46-52 (in Russ.).
https://doi.org/10.35556/idr-2023-3(104)46-52

Поступила 29.02.2024
Received 29.02.2024
Принята к печати 20.03.2024
Accepted 20.03.2024