

Научная статья

УДК 616.31-085

DOI: 10.17816/pmj41173-80

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ БИОДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ

**О.С. Гилева<sup>1\*</sup>, А.Д. Левицкая<sup>1</sup>, О.Е. Бекжанова<sup>2</sup>, Т.В. Либик<sup>1</sup>, М.Ю. Килина<sup>1</sup>, М.А. Сычева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Российская Федерация,

<sup>2</sup>Ташкентский государственный стоматологический институт, Республика Узбекистан

## INTEGRATED APPROACH TO THE STUDY OF BIODEGRADATION OF COMPOSITE MATERIALS FOR THE RESTORATION OF HARD DENTAL TISSUES

**O.S. Gileva<sup>1\*</sup>, A.D. Levitskaya<sup>1</sup>, O.E. Bekzhanova<sup>2</sup>, T.V. Libik<sup>1</sup>, M.Yu. Kilina<sup>1</sup>, M.A. Sycheva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>E.A. Vagner Perm State Medical University, Russian Federation,

<sup>2</sup>Tashkent State Dental Institute, Republic of Uzbekistan

---

© Гилева О.С., Левицкая А.Д., Бекжанова О.Е., Либик Т.В., Килина М.Ю., Сычева М.А., 2024

тел: +7 342 233 01 92

e-mail: o.s.gileva@yandex.ru

[Гилева О.С. (\*контактное лицо) – заведующая кафедрой терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, доктор медицинских наук, ORCID: 0000-0002-4289-6285; Левицкая А.Д. – ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, кандидат медицинских наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1223-1020; Бекжанова О.Е. – заведующая кафедрой факультетской терапевтической стоматологии, доктор медицинских наук, профессор, ORCID: 0000-0002-1686-1820; Либик Т.В. – доцент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, кандидат медицинских наук, доцент, ORCID: 0000-0002-9790-6700; Килина М.Ю. – ординатор кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, кандидат медицинских наук, доцент, ORCID: 0009-0006-8554-0779; Сычева М.А. – ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний, ORCID: 0009-0008-1735-8101].

© Gileva O.S., Levitskaya A.D., Bekzhanova O.E., Libik T.V., Kilina M.Yu., Sycheva M.A., 2024

tel. +7 342 233 01 92

e-mail: o.s.gileva@yandex.ru

[Gileva O.S. (\*contact person) – MD, PhD, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, ORCID: 0000-0002-4289-6285; Levitskaya A.D. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, ORCID: 0000-0002-1223-1020; Bekzhanova O.E. – MD, PhD, Professor, Head of the Department of Faculty Therapeutic Dentistry, ORCID: 0000-0002-1686-1820; Libik T.V. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, ORCID: 0000-0002-9790-6700; Kilina M.Yu. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Resident of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, ORCID: 0009-0006-8554-0779; Sycheva M.A. – Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases, ORCID: 0009-0008-1735-8101].

**Цель.** В серии эквивалентных циклических испытаний изучить напряженно-деформированное состояние деминерализованной эмали зуба после ее импрегнации композитом низкой вязкости в сроки, эквивалентные длительному периоду функционирования в полости рта; соотнести результаты экспериментов с клиническими наблюдениями лечения кариеса эмали по модифицированной инфильтрационной методике.

**Материалы и методы.** Проанализированы параметры лазерной голографической интерферометрии и атомно-силовой микроскопии, отражающие сроки появления, тип и выраженность деформационных дефектов в образцах деминерализованной эмали зубов, на которых в процессе эксперимента воспроизведена классическая инфильтрация композитом по технологии ICON (основная группа) и двухэтапная методика лечения кариеса эмали, включающая проведение модифицированной по времени кондиционирования классической инфильтрации и заключительный этап (этапы) покрытия эмали биоактивным гибридным стеклоиономером (группа сравнения).

**Результаты.** Первые признаки генерации деформационных дефектов в проинфильтрированной по классической методике деминерализованной эмали (появление перифокальных микротрещин) зафиксированы у 11,2 % тестируемых образцов через  $0,9 \cdot 10^6$  циклов (эквивалент 9 месяцев функционирования зуба с пролеченным кариесом эмали в полости рта), в ходе дальнейших цикловых испытаний процент образцов с локальными дефектами прогрессивно нарастал. Признаки нарушения напряженно-деформированного состояния в эмали после комбинированного лечения (образцы группы сравнения) выявлены в циклах, соответствующих 2–3 годам нахождения в условиях искусственной среды полости рта. Экспериментальные данные коррелировали с клиническими наблюдениями по времени и частоте проявления осложнений (вторичного / рецидивного кариеса) в отдаленные сроки после лечения кариеса эмали разными методами.

**Выводы.** В процессе эквивалентных циклических испытаний в толще участка деминерализованной эмали, проимпрегнированной текучим композитом, и по его перифокальным зонам развиваются неоднородные упругопластические деформации, наиболее выраженные на границах раздела интактной и пролеченной эмали, что приводит к развитию локальных дефектов, расслоений, трещин, разрушению структурно-неоднородной среды эмали зуба. По итогам сравнительного анализа наиболее благоприятные результаты в части сроков развития, частоты и степени выраженности деформационных дефектов получены у образцов деминерализованной эмали после её лечения по модифицированной методике кариес-инфильтрации с последующим покрытием биоактивным гибридным стеклоиономером.

**Ключевые слова.** Композитные материалы, эстетико-функциональная реставрация, кариес эмали, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные циклические испытания.

**Objective.** To study the stress-strain state of demineralized tooth enamel after its impregnation with a low-viscosity composite in a long-term period of functioning in the oral cavity in a series of equivalent cyclic tests; to study the correlation of the experimental results with clinical observations of the treatment of enamel caries using a modified infiltration technique.

**Materials and methods.** The parameters of laser holographic interferometry and atomic force microscopy, reflecting the timing, type and severity of deformation defects in samples of demineralized tooth enamel were analyzed in a series of equivalent cyclic tests. During the experiment the samples underwent classical infiltration with composite using ICON technology (main group) and a 2-stage enamel caries treatment technique, including carrying out a time-modified conditioning of classical infiltration and the final stage (stages) of enamel coating with a bioactive hybrid glass ionomer (comparison group).

**Results.** The first signs of the deformation defects generation in demineralized enamel filtered on the classical method (the appearance of perifocal microcracks) were recorded in 11.2 % of the tested samples after  $0.9 \cdot 10^6$  cycles (equivalent to 9 months of functioning of a tooth with treated enamel caries in the oral cavity), during further cyclic tests the percentage of samples with local defects increased progressively. Signs of a violation of the stress-strain state in the enamel after combined treatment (samples of the comparison group) were revealed in cycles corresponding to 2–3 years of being in an artificial environment of the oral cavity. Experimental data correlated with the clinical observations both in time and frequency of complications (secondary/recurrent caries) in the long term after treatment of enamel caries by various methods.

**Conclusions.** In the process of equivalent cyclic tests, heterogeneous elastic-plastic deformations develop in the thickness of a section of demineralized enamel impregnated with a flowing composite and along its perifocal zones, most pronounced at the interface between intact and treated enamel, which leads to the development of local defects, delaminations, cracks, and destruction of the structurally heterogeneous environment of tooth enamel. According to the results of the comparative analysis, the most favorable results in terms of the timing of development, frequency and severity of deformation defects were obtained in samples of demineralized enamel after its treatment using a modified caries infiltration technique followed by coating with a bioactive hybrid glass ionomer.

**Keywords.** Composite materials, aesthetic and functional restoration, enamel caries, stress-strain state, equivalent cyclic tests.

## ВВЕДЕНИЕ

Эстетико-функциональная реставрация (ЭФР) утраченных тканей зубов (дентина, эмали, цемента) – наиболее распространенная лечебная процедура на поликлиническом приеме терапевта-стоматолога и врача-стоматолога общей практики. Ключевая роль в ЭФР зубов отводится современным композитным материалам (КМ), требования к которым, несмотря на их многообразие на стоматологическом рынке, постоянно растут. Современное стоматологическое материаловедение и консервативно-профилактическая стоматология непротиворечиво выделяют следующие основные перспективные направления разработки новых композитных материалов для ЭФР: биоактивных композитов с антимикробными / реминерализирующими ингредиентами; упроченных композитов, в том числе армированных волокнами; быстротвердеющих композитов; КМ с более высокими адгезивными свойствами и повышенной трещиностойкостью для обеспечения эксплуатационной живучести материала в отдаленные сроки после проведенной ЭФР [1; 2]. Оптимальный баланс прочностных и вязкостных свойств позволяет улучшить прилипаемость / краевую адаптацию КМ к твердым тканям зуба (ТТЗ), улучшить его манипуляционные характеристики, обеспечить стабильность полученных результатов ЭФР во времени. Одним из современных трендов

стоматологического материаловедения в плане ЭФР являются технологии улучшения физико-механических свойств КМ путем термо-, вибро- или механической активации материала или их комбинирования [3; 4]. Модернизация ЭФР идет и по пути создания новых, более совершенных адгезивных и полимеризационных систем, технологий кондиционирования ТТЗ перед пломбированием [5; 6]. Показательно, что КМ традиционно востребованы не только для замещения собственно дефектов дентина или цемента. Экспериментально-клинические исследования [7] убедительно свидетельствуют, что отдельная группа ненаполненных высокотекучих композитов с низкой вязкостью (low viscosity resin) эффективно используется для ультраконсервативной терапии очаговой деминерализации эмали (ОДЭ), применяется в комбинации с традиционным реставрационным лечением или отбеливанием зубов [8; 9]. Как классический пример такого КМ с низкими вязкостными свойствами рассматривается инфильтрант в классическом и усовершенствованных вариантах кариес-инfiltrации (К-И) по технологии ICON (DMG, Germany), в экспериментальных и клинических условиях продемонстрировавших преимущества в сравнении с традиционной реминерализирующей терапией [10].

Условия длительного функционирования КМ в полости рта, определяющие долговечность реставрации / инфильтрации ТТЗ,

во многом определяются развитием напряженно-деформированного состояния на границе КМ и тканей зуба (эмали, дентина, цемента). Изучение закономерностей мультифакториальной (механической, химической, биомеханической, термодинамической) биодеградациии инфильтрационного КМ, моделирующие его поведение в тканях зуба при долговременном функционировании бинарной системы «композит – эмаль» в полости рта, теоретически значимо и практически обосновано, хотя подобные исследования немногочисленны. Зарубежное испытательное оборудование (Willytec, МТС-simulator и др.), предназначенное для этих целей, установлено в нескольких крупных центрах биоматериаловедения мирового уровня. Востребованы отечественные разработки подобных симуляционных систем и оборудования, их приведение к стандартам ISO и ГОСТ для квалифицированного тестирования новых стоматологических материалов (в том числе КМ) и лечебно-профилактических технологий.

*Цель исследования* – в серии эквивалентных циклических испытаний изучить напряженно-деформированное состояние деминерализованной эмали зуба после ее импрегнации композитом низкой вязкости в сроки, эквивалентные длительному периоду функционирования в полости рта; соотнести результаты экспериментов с клиническими наблюдениями лечения кариеса эмали по модифицированной инфильтрационной методике.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные и клинические исследования одобрены локальным этическим комитетом, проведены на кафедре терапевтической стоматологии и пропедевтики

стоматологических заболеваний ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, кафедре общей физики ПГНИУ, в специализированных лабораториях АО «ОДК-СТАР» (г. Пермь). Для эксперимента были отобраны 40 удаленных по показаниям премоляров с сохранной коронкой и корнем, на которых оригинальным методом<sup>1</sup> моделировали кариес эмали (1, 2 код ICDAS), подтверждая его соответствие данными микрокомпьютерной томографии, АСМ- и СЭМ-микроскопии. Случайным образом зубы распределяли на две равноценные группы: основную (на зубах с искусственным кариесом моделировали классическую методику К–И) и группу сравнения, на зубах которой искусственный кариес эмали «лечили» по авторской двухэтапной методике, включающей этап импрегнации очага деминерализации композитом с увеличенной до 4 мин экспозицией кондиционирования эмали и этап покрытия проимпрегнированной эмали слоем биоактивного гибридного стеклоиономера<sup>2</sup>.

Для изучения закономерностей биодеградациии деминерализованной эмали зуба, проимпрегнированной КМ низкой вязкости по классической и разработанной нами комбинированной методике К–И, в работе использован новый отечественный симуляционный комплекс квалификационного оборудования для проведения трибологических испытаний стоматологических материалов и технологий, разрабо-

<sup>1</sup> Гилева О.С., Муравьева М.А., Гилева Е.С., Вальцифер В.А., Нечаев А.И. Способ моделирования очага деминерализации эмали зуба. Патент на изобретение RU 2503067 C1, 27.12.2013. Заявка № 2012147965/14 от 12.11.2012.

<sup>2</sup> Гилева О.С., Шакуля М.А., Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Серебренникова Е.В. Способ лечения очаговой деминерализации эмали зуба. Патент на изобретение RU 2571334 C1, 20.12.2015. Заявка № 2014146961/14 от 21.11.2014.

танный совместно со специалистами инженерно-технического профиля<sup>3</sup>.

Для измерения наноперемещений в проинфильтрированной эмали и ее микродеформаций в процессе эквивалентных циклических испытаний материалов нами использован метод лазерной голографической интерферометрии (ЛГИ) со схемой контр-направленного действия с двойным экспонированием, синхронизированный с анализом поверхности эмали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и расчетом ее количественных параметров для выявления микротрещин, разрывов и т.д. в зоне раздела материалов [11]. Голограмму после каждого цикла циклических испытаний сравнивали с исходной.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам циклических испытаний зубов основной группы, кариес эмали которых лечили по классической методике К–И соответственно рекомендациям фирмы-производителя, через  $0,9 \cdot 10^6$  циклов, эквивалентных 9 месяцам функционирования пролеченного зуба в составе зубо-челюстной системы, в 11,2 % случаев методом ЛГИ синхронно с АСМ-анализом поверхности эмали

на границе здоровой и проимпрегнированной эмали определяли микротрещины с ответвлениями (уточнением). Через  $1,2 \cdot 10^6$  циклов (эквивалент года после лечения) доля выявленных трещин в эмали возросла до 55,5 %. На аналогичных этапах эквивалентных циклических испытаний, соответствующих 9 и 12 месяцам наблюдения, на поверхности тестируемых образцов зубов, пролеченных в условиях эксперимента по оригинальной двухэтапной методике (импрегнация композитом низкой вязкости с последующим покрытием гибридным стеклоиономером), ни в одном из случаев не выявляли появления микротрещин и других дефектов – краевое прилегание зоны импрегнации к видимо интактной эмали не было нарушено. Более того, только через 60 мин испытаний (эквивалент трехлетнему сроку «эксплуатации» в полости рта проимпрегнированной композитом эмали) выявлялись первые признаки микродеформации ее поверхностных слоев (возрастание кривизны интерференционных полос), однако и на этом этапе не фиксировали ни появления расслоений, ни микротрещин в приграничных участках эмали. Выявленные в условиях эксперимента признаки нарушения деформационного поведения эмали, проинфильтрированной композитом по классической методике, соответствовали фиксируемым нами у 23,9 % из 67 пациентов с очаговой деминерализацией эмали случаев развития вторичного кариеса, видимых линейных дефектов, нарушений краевой адаптации композита в толще эмали в отдаленные сроки наблюдения (через 12,18 месяца после лечения). Результаты экспериментальной оценки «функциональной живучести» особой структурно-неоднородной среды – проимпрегнированная композитом деминерализованная эмаль, заламинированная слюем биоактивного стеклоиономера – в тестируемых образцах группы сравнения соответ-

<sup>3</sup> Левицкая АД, Гилева О.С. Устройство для изготовления демпфирующей реплики окклюзионной поверхности зуба *in vitro* для проведения циклических испытаний зуба на осевое сжатие. Патент на полезную модель RU 191943 U1, 28.08.2019. Заявка № 2018145620 от 20.12.2018; Левицкая АД, Гилева О.С. Устройство для вклеивания зуба *in vitro* для проведения циклических испытаний зуба на осевое сжатие. Патент на полезную модель RU 190383 U1, 28.06.2019. Заявка № 2018145617 от 20.12.2018; Левицкая АД, Гилева О.С. Устройство для центрирования зуба *in vitro* для проведения циклических испытаний зуба на осевое сжатие. Патент на полезную модель RU 191894 U1, 26.08.2019. Заявка № 2018145619 от 20.12.2018; Левицкая АД, Гилева О.С. Устройство для проведения циклических испытаний зубов *in vitro* на осевое сжатие. Патент на изобретение RU 2704208 C1, 24.10.2019. Заявка № 2018145123 от 18.12.2018.

ствовали данным проведенных клинических наблюдений (отсутствие признаков вторичного / рецидивного кариеса в течение 1,5 лет после проведенного лечения, единичные случаи появления дефектов (нарушений приграничной адаптации) на поверхности эмали после 18 месяцев наблюдения).

По результатам испытаний отмечали также, что использованная в работе отечественная симуляционная система эквивалентных циклических испытаний тестируемых образцов, отличающаяся оригинальностью конструкционных решений, методиками оценки эксплуатационных характеристик тестируемых образцов, подходами к регуляции скорости нарастания нагрузок, выбором температурных режимов, способами поддержания жидкостного гомеостаза искусственной слюной оригинального состава, максимально приближающими эксперименты *in vitro* к реальным условиям длительного функционирования зубов в полости рта, продемонстрировала высокие квалификационные характеристики.

Известно, что анализ напряженно-деформированного состояния в процессе трибологических испытаний традиционно проводится методами тензометрии, фотоупругости, цифровой динамической спектр-фотографии или с использованием математических моделей. Использование в этих целях метода ЛГИ не только охарактеризовалось новизной подхода, но и продемонстрировало хорошие результаты как в плане объективности и воспроизводимости полученных результатов, так и наглядности их представления. Таким образом, полученная по результатам эквивалентных клинических испытаний сумма физических знаний позволила определить критические периоды, «фокусы» и типы деформаций в деминерализованной эмали до и после проведения различных лечебных методик. Получены новые данные о закономерностях

биодegradации композитного материала в составе деминерализованной эмали, подтвердившие правильность выбранного ультраконсервативного подхода к ее лечению на основе импрегнации пораженных зон эмали текучим композитом с пролонгированным предварительным этапом кондиционирования и последующим финишным ламинированием проинфильтрированной и перифокальной эмали биоактивным стеклоиономером.

## ВЫВОДЫ

1. Эквивалентные циклические испытания образцов зубов с кариесом эмали, пролеченных по классической методике кариес-инфильтрации, объясняют выявляемую клинически высокую (23,9 %) частоту осложнений в виде развития вторичного кариеса через 1–1,5 года после лечения. Экспериментально это отражено появлением у 55,5 % тестируемых образцов микротрещин на сроках, соответствующих 12 месяцам функционирования в полости рта.

2. Преимущества двухэтапной (импрегнация композитом с пролонгированным этапом кондиционирования и последующим покрытием биоактивным стеклоиономером) методики лечения кариеса эмали подтверждены результатами экспериментальных исследований (появление первых признаков микродеформаций поверхности эмали после 18 месяцев наблюдения).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Maas M.S., Alania Y., Natale L.C., Rodrigues M.C., Watts D.C., Braga R.R. Trends in restorative composites research: what is in the future? *Braz Oral Res.* 2017; 31 (suppl 1): e55. DOI: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0055.

2. Гилева О.С. Консервативно-профилактическая стоматология: современные

тренды развития. Пермский медицинский журнал 2018; 35 (6): 61–72. DOI: 10.17816/pmj35661-72 / *Gileva O.S.* Conservative-and-preventive stomatology: modern trends of development. *Perm Medical Journal* 2018; 35 (6): 61–72. DOI: 10.17816/pmj35661-72 (in Russian).

3. *Loumprinis N., Maier E., Belli R., Petschelt A., Eliades G., Lobbauer U.* Viscosity and stickiness of dental resin composites at elevated temperatures. *Dent Mater.* 2021; 37 (3): 413–422. DOI: 10.1016/j.dental.2020.11.024.

4. *Гущин А.А., Адамчик А.А.* Способы улучшения физико-механических и химических свойств композитных пломбировочных материалов. Пульс: медико-фармацевтический журнал 2020; 22 (2): 36–41. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-2-36-41 / *Guschin A.A., Adamchik A.A.* Methods for improving the physicomachanical and chemical properties of composite filling materials. *Pulse: medical & pharmaceutical journal* 2020; 22 (2): 36–41. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-2-36-41 (in Russian).

5. *Алексеев В.В., Максут Н.Б.* Новейшие тенденции в реставрационной стоматологии. Материалы V Конференции с международным участием «По итогам НИР: наука и практика в стоматологии». *Scientist* 2023; 3 (25): 73–79. / *Alekseev V.V., Maksut N.B.* Noveishie tendentsii v restavratsionnoi stomatologii. Materialy V Konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem Po itogam NIR nauka i praktika v stomatologii. *Scientist* 2023; 3 (25): 73–79 (in Russian).

6. *Хайдаров А.М., Ильясова С.Р.* Современные подходы применения композитов текучей консистенции для эстетической реставрации зубов. Проблемы биологии и медицины 2020; 116 (1): 277–282. DOI: 10.38096/2181-5674.2020.1.00070 / *Khaidarov A.M., Ilyasova S.R.* Modern approaches to the use of composites of fluid consistency for aesthetic restoration of teeth. *Problems of Biology and*

*Medicine* 2020; 116 (1): 277–282. DOI: 10.38096/2181-5674.2020.1.00070 (in Russian).

7. *Гилева О.С., Муравьева М.А., Свистков А.Л., Изюмов Р.И., Левицкая А.Д.* Экспериментальное исследование поверхности эмали зуба при различных лечебно-профилактических воздействиях. Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2017; 3: 15–21. / *Gileva O.S., Muraveva M.A., Svistkov A.L., Izyumov R.I., Levitskaya A.D.* Experimental research of the enamel surface of a tooth after different kinds of treatment. *Perm Federal Research Centre Journal* 2017; 3: 15–21 (in Russian).

8. *Макеева И.М., Скатова Е.А., Власова Н.Н.* Клинико-лабораторное обоснование способа лечения кариеса методом инфильтрации в комбинации с профессиональным отбеливанием. Часть 1. Клиническая стоматология. 2011; 57 (1): 24–26. / *Makeeva I.M., Skatova E.A., Vlasova N.N.* Clinical and laboratory grounds of caries treatment by means of the infiltration method combined with chair-side teeth whitening. Part 1. *Clinical dentistry* 2011; 57 (1): 24–26 (in Russian).

9. *Морозов И.А., Свистков А.Л., Гилева О.С., Ерофеева Е.С.* Экспериментальное исследование влияния клинического отбеливания на микроструктуру поверхности эмали зубов. Российский журнал биомеханики 2010; 14 (1): 56–64. / *Morozov I.A., Svistkov A.L., Gileva O.S., Erofeeva E.S.* Experimental investigation of the influence of bleaching on enamel surface microstructure. *Russian Journal of Biomechanics* 2010; 14 (1): 56–64 (in Russian).

10. *Гилева О.С., Левицкая А.Д.* Экспериментальный анализ показателей трещиностойкости деминерализованной эмали зуба после проведения комбинированного инфильтрационного лечения. Пермский медицинский журнал 2021; 38 (3): 110–121. DOI: 10.17816/pmj383110-121 / *Gileva O.S., Levitskaya A.D.* Experimental analysis of crack resistance indicators of demineralized tooth enamel after combined infiltration treatment. *Perm*

*Medical Journal* 2021; 38 (3): 110–121. DOI: 10.17816/pmj383110-121 (in Russian).

11. *Левицкая А.Д., Гилева О.С., Даурова Ф.Ю., Акмалова Г.М.* Метод лазерной голографической интерферометрии для анализа микродеформаций деминерализованной эмали в процессе лечения. XXII Зимняя школа по механике сплошных сред: тезисы докладов. Пермь 2021; 193–194. *Levitskaya A.D., Gileva O.S., Daurova F.Yu., Akmalova G.M.* Metod lazernoy golograficheskoy interferometrii dlya analiza mikrodeformatsiy demineralizovannoy emali v protsesse lecheniya. XXII Zimnyaya shkola po mekhanike sploshnykh sred: tezisy dokladov, Perm' 2021; 193–194 (in Russian).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Комплексный подход к изучению биodeградации композитных материалов для восстановления твердых тканей зубов / О.С. Гилева, А.Д. Левицкая, О.Е. Бекжанова, Т.В. Либик, М.Ю. Килина, М.А. Сычева // Пермский медицинский журнал. – 2024. – Т. 41, № 1. – С. 73–80. DOI: 10.17816/pmj41173-80

Please cite this article in English as: Gileva O.S., Levitskaya A.D., Bekzhanova O.E., Libik T.V., Kilina M.Yu., Sycheva M.A. Integrated approach to the study of biodegradation of composite materials for the restoration of hard dental tissues. *Perm Medical Journal*, 2024, vol. 41, no. 1, pp. 73-80. DOI: 10.17816/pmj41173-80

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:**

Гилева О.С. – концепция и дизайн исследования.

Левицкая А.Д., Бекжанова О.Е., Килина М.Ю., Сычева М.А. – сбор и обработка материала.

Либик Т.В. – статистическая обработка.

Гилева О.С. – написание текста.

Либик Т.В. – редактирование.

Поступила: 12.01.2024

Одобрена: 18.01.2024

Принята к публикации: 25.01.2024