

Микро- и ультраструктура эмали зуба и ее значение для профилактики кариеса

А.А. КУНИН*, **, д.м.н., профессор, директор

Н.С. МОИСЕЕВА**, к.м.н., ассистент

Д.А. КУНИН**, к.м.н., докторант

*Институт стоматологии

**Кафедра госпитальной стоматологии

ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж

Micro- and metastructure of tooth enamel and its value for prophylaxis of caries

A.A. KUNIN, N.S. MOISEEVA, D.A. KUNIN

Резюме

Хорошая кумуляция в зубном налете минеральных компонентов, поступающих после действия нейтральных и слабощелочных зубных паст и необходимых для обменных процессов твердых тканей зуба, способствует их лучшему проникновению через эмалевые туннели, кристаллы гидроксиапатита эмали в области эмалево-дентинной границы и в поверхностные слои дентина. При изучении эффективности применения зубных паст с фтором и без фтора в разные возрастные периоды было выявлено, что наибольшее положительное влияние на структурно-функциональную кариесрезистентность эмали зубов оказывают пасты на основе минеральных компонентов и фермента бромелаина в возрастной группе 19–45 лет и пасты с аминифторидом в возрастной группе 4–7 лет.

Ключевые слова: микро- и ультраструктура эмали зуба, зубные пасты с фтором и без фтора, кариесрезистентность эмали зуба.

Abstract

The good cumulation in a dental plaque of the mineral components arriving after action of neutral and alkaline toothpastes and hard tissues of tooth, necessary for exchange processes, promotes their best penetration at enamel tunnels, enamel hydroxyapatite crystals in the field of enamel and dentinal border and to the surface layers of a dentine. When studying effectiveness of application of toothpastes with fluorine and without fluorine during the different age periods it was revealed that the greatest positive impact on a structurally functional cariesresistance of teeth enamel is exerted by pastes on the basis of mineral components and enzyme of a bromelain in age group of 19–45 years and pastes with aminofluoride in age group of 4–7 years.

Key words: micro- and metastructure of tooth enamel, toothpastes with fluorine and without fluorine, a cariesresistance of tooth enamel.

Исследования эмали зуба были начаты в позапрошлом веке. По данным Гофунга Е. М. и Энтина Д. А. (1938) немецкий ученый Schaffer в 1841 году под увеличением в 380 раз на продольном шлифе резца человека обнаружил незначительные проникновения дентинных канальцев в эмаль [1]. Затем Лукомский (1955) на основании исследований Schaffer предположил, что таким образом осуществляются обменные процессы между эмалью, дентином и пульпой [9]. До 1994 года этот вывод считался

основополагающим. Для его уточнения необходимо использование модифицированных методов электронной микроскопии зуба, а также расширение ее возможностей с помощью атомно-силовой и туннельной микроскопии. Такие исследования были начаты в середине 1990-х годов и продолжаются до настоящего времени [4]. Полученные результаты позволили при увеличении до 50 тыс. раз (РЭМ) и более (атомно-силовая микроскопия), а также с помощью рентгеноспектрального микроанализа, выявляющего более

десяти органических и неорганических составляющих метаболизма твердых тканей зуба, определить новые особенности строения эмали. Прежде всего, это касается эмалевых отверстий (рис. 1), которые на временных зубах выявляются в виде «пчелиных сот» размером не более 1,5 мкм, а на постоянных зубах, на фоне стертостей и их отсутствия, оставшиеся отверстия достигали 3 мкм (рис. 2А).

Дальнейшие исследования [8, 10] определили, что эмалевые отверстия являются началом образова-

ний, названных нами эмалевыми туннелями (рис. 2В), S-образно изгибающихся по ходу пучков эмалевых призм и доходящих до дентина, проникая в него в виде образований, названных нами эмалевыми мостиками (рис. 3).

Глубина проникновения эмалевых мостиков в дентин до 5–10 мкм, ширина до 4–8 мкм. В каждом эмалевом мостике содержится до 4–6 эмалевых туннелей с повышенной плот-

ностью их расположения и меньшим диаметром (0,5–1,5 мкм). По нашим данным, отростки одонтобластов проникают именно в эмалевые туннели эмалевых мостиков, где и осуществляют обмен веществ между эмалью и дентином.

Таким образом, элементы более прочной эмали в виде эмалевых мостиков проникают в менее прочный дентин, что наиболее объяснимо. В этих участках эмаль имеет более высокие прочностные характеристики, не позволяющие образовываться сколам, трещинам и деминерализации.

Атомно-силовая микроскопия выявила, что эмалевые туннели в конечных их участках, начиная с середины эмали и до дентина, располагаются друг к другу под углом 90 градусов, образуя своеобразную сеть, регулирующую обменные процессы. Это позволяет использовать «коллатерали» вокруг зон деминерализации при начинающемся кариозном процессе. Наши исследования показали, что минеральные компоненты, необходимые для обменных процессов эмали,

кроме ее кристаллов, накапливаются на границе эмали и дентина, тем самым создается их запас [3, 5–7].

Понимание микро- и ультраструктуры эмали было бы неполным без анализа микрохимической ее составляющей. Рентгеноспектральный микроанализ и планарные спектрограммы, автоматически полученные при его использовании, констатировали, что на стенках эмалевых туннелей и в близи них находятся в основном минеральные компоненты (Ca, Ba, Cd, Sr, P, Si, As, C; K, Br, J, Cl), а в просвете — органические элементы, в основном O₂ и C.

В некоторых диссертациях, вышедших с нашей кафедры, была высказана, а затем и подтверждена гипотеза об органической матрице как проводнике минеральных компонентов в более глубокие слои эмали [2].

Применение РЭМ и АСМ дало возможность не только проследить за ионным обменом эмали и дентина в норме, но и при воздействии на зубы средств гигиены и пломби-

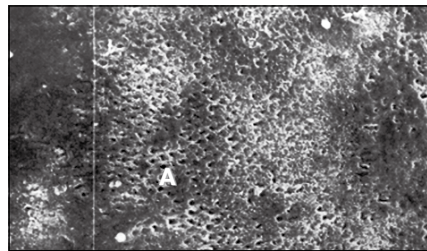


Рис. 1. Поверхность эмали временного зуба (x500): А — отверстие

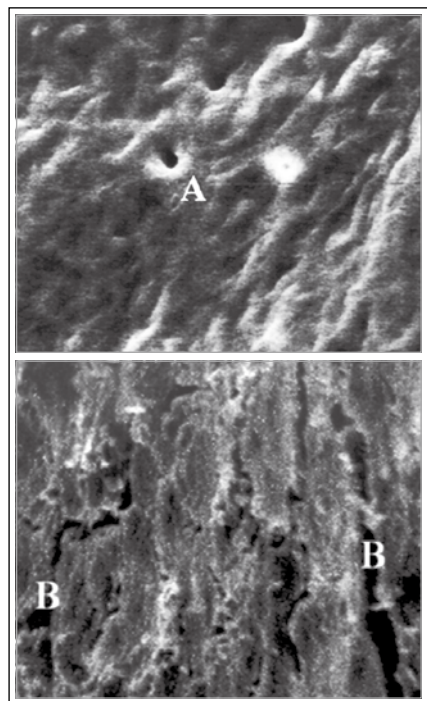


Рис. 2. А — эмалевое отверстие, В — эмалевый туннель

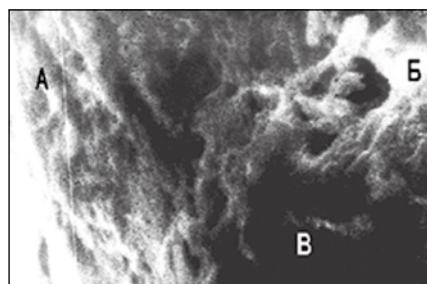


Рис. 3. Срез зуба, цемент эмалевая граница (x5000): А — эмаль, Б — эмалевый мостик, В — дентин

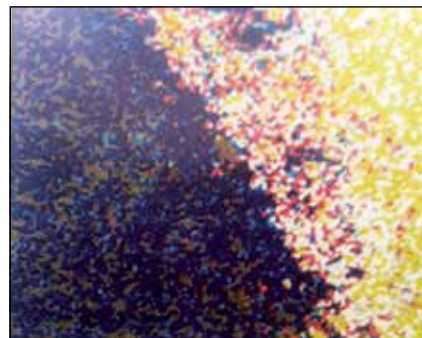


Рис. 4. Планарная спектрограмма. Распределение микроэлементов в эмали зуба при пломбировании материалом химического отверждения Eviscol original (выпускается без бондинговой системы)

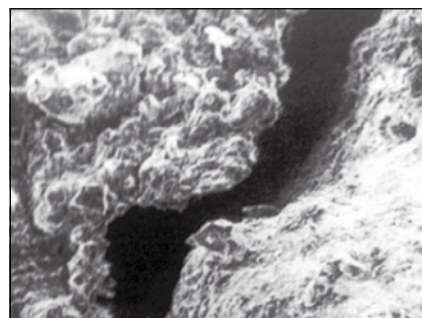


Рис. 4а. Сканирующая электронная микроскопия x100. Пространство между эмалью и пломбировочным материалом Eviscol original

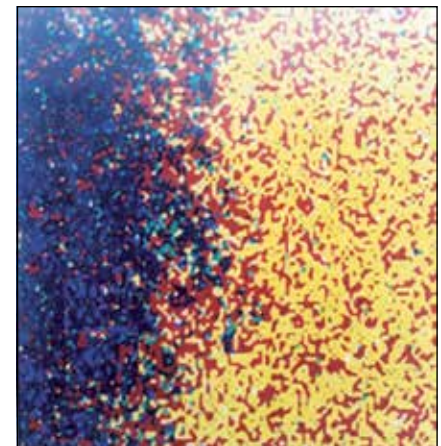


Рис. 5. Планарная спектрограмма. Распределение микроэлементов в эмали зуба при пломбировании светоотверждаемым материалом Charisma F (с бондинговой системой)

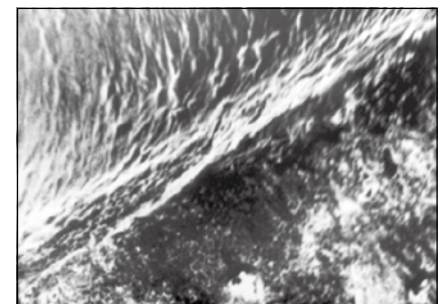


Рис. 5а. Сканирующая электронная микроскопия x100. Пространство между эмалью и пломбировочным материалом Charisma F

ровочных материалов при лечении зубов по поводу кариеса.

Эти исследования выявили различные варианты обменных процессов при использовании различных пломбировочных материалов.

Так, например, при исследовании границы эмаль-пломба с применением пломбировочного материала химического отверждения Eviscol original, выпускаемого без бондинговой системы, отсутствует взаимная пенетрация, нет диффузии микроэлементов и пломбы в зуб и обратно (рис. 4, 4а).

При исследовании светоотверждаемых материалов Charisma F и Solitaire, применяемых с бондинговой системой, с помощью планарных спектрограмм и сканирующей электронной микроскопии наблюдается взаимная диффузия микроэлементов на границе пломба-зуб и отсутствие щели между эмалью и пломбировочным материалом, что говорит о более высоком качестве пломбирования (рис. 5, 5а, 6, 6а).

Также нами было изучено влияние электромагнитного поля на пломбировочный материал в плане улучшения его физико-механических свойств. Полученные результаты подтвердили наличие изменений микроструктуры пломбировочного материала, улучшение химической адгезии после воздействия на пломбировочный материал (рис. 7) [11].

Таким образом, полученные нами результаты и приведенные иллюстрации показывают возможность профилактики рецидивного (вторичного) кариеса при использовании более современных пломбировочных материалов, адекватных биопроцессам эмали зуба. Нами

было констатировано, что размеры частиц основного вещества пломбировочного материала проходят по эмалевым туннелям и через эмалевые мостики поступают в дентин. Этим осуществляется не только насыщение эмали посредством минерализации с помощью сети туннелей, но и дентина при непосредственном участии в этом органической матрицы.

Активизация концентрации кислорода в эмали при развитии кариозного процесса подтверждает это заключение.

Улучшение обменных процессов в твердых тканях зуба, зарегистрированное после использования адекватных пломбировочных материалов, служит профилактикой кариеса в этих зубах, что и было выявлено нами. В немалой степени этому содействует использование зубных паст, обладающих минеральной активностью. Большое значение для профилактики кариеса имеет pH ротовой жидкости и зубных паст.

Полученные нами данные показали минимальный прирост кариеса: 0,3 — в течение 1 года у 70 лиц (47%), пользовавшихся щелочными или нейтральными зубными пастами и имевших нейтральную (pH = 7,0) или щелочную среду полости рта (pH = 8,0). Близким по значению оказался прирост кариеса: 0,4 — у лиц (24 человека, 16%), имевших кислую ротовую жидкость (pH = 5,5–6,7), но пользовавшихся нейтральной или щелочной зубной пастой (Blend-a-med, Oral-B, Colgate Total, Crest). Видимому, этот эффект объясняется нейтрализацией агрессивной кислотосодержащей ротовой жидкости буферными свойствами щелочных зубных паст, что приводит к повышению кариесрезистентности твердых тканей зубов.

Среди пациентов с нейтральной средой полости рта (20 человек, 13%) и пользовавшихся кислыми зубными пастами (Blend-a-med), отмечался более высокий прирост кариеса — 2,8, а самые высокие значения прироста кариеса — 4,6 — были зарегистрированы при сочетании пониженного значения pH ротовой жидкости с использованием профилактического средства с кислотной реакцией (36 человек, 24%), что согласуется с данными, полученными при проведении кислотной биопсии эмали (Беленова И. А., 1998) у лиц с различными значениями pH ротовой жидкости при использовании разных зубных паст.

Таким образом, проведенные исследования показали, что индивидуализированный подход к выбору средств гигиены полости рта ведет к значительному повышению их лечебно-профилактической эффективности.

Оригинальные результаты были получены при изучении противокариозного действия зубных паст R.O.C.S., минеральная составляющая которых активно проникала через выявленные нами микроструктурные образования эмали с использованием органической матрицы и доходя до дентина.

В серии клинико-анамнестических, клинических и клинико-лабораторных исследований изучен материал, полученный при осмотре 643 пациентов на массовом стома-

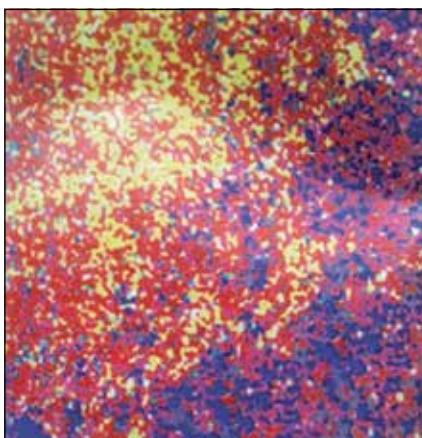


Рис. 6. Планарная спектрограмма. Распределение микроэлементов в эмали зуба при пломбировании светоотверждаемым материалом Solitaire (с бондинговой системой)

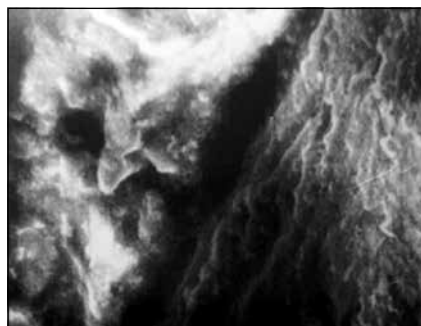


Рис. 6а. Сканирующая электронная микроскопия x100. Пространство между эмалью и пломбировочным материалом Solitaire, заполненное бондом

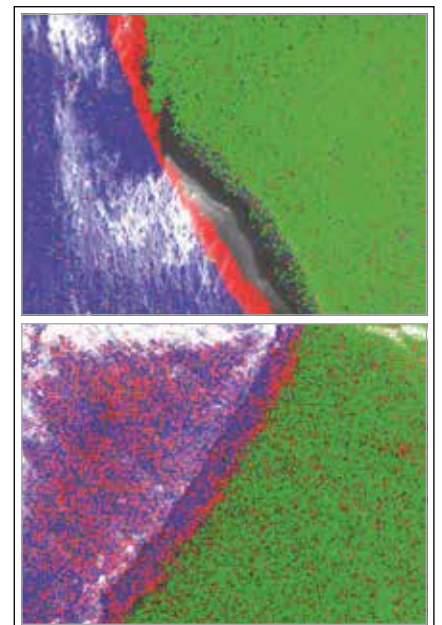


Рис. 7. Распределение микроэлементов (C, Ca, Si) до и после обработки (адгезивная система и пломбировочный материал «Solitaire», Heraeus Kultzer)

тологическом приеме. Обследовался контингент из 300 человек, из них 129 (43,0%) — женского пола и 171 (57,0%) — мужского пола, с различными водородными показателями ротовой жидкости: щелочным — 112 (37,3%), нейтральным — 127 (42,3%), кислым — 61 (20,4%).

Одной из основных задач исследования было изучение эффективности применения фтористых зубных паст в разные возрастные периоды и проведение сравнительного анализа с другими исследуемыми зубными пастами. В связи с этим для проведения исследований выбирались лица в возрасте: 4–7 лет — дошкольники; 8–18 лет — школьники; 19–45 лет — взрослые (то есть с завершившейся минерализацией твердых тканей зубов); 45–70 лет — взрослые среднего возраста и пожилые, имеющие минимум 20 естественных зубов с сохраненной коронкой; не подвергавшиеся воздействию производственных вредностей и без выраженной сопутствующей патологии, включающей заболевания желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы и обменные нарушения.

Исследование зубных паст проводилось двойным слепым методом, немаркированные образцы были закодированы. В зависимости от возраста волонтеров и используемой пасты были сформированы группы сравнения. Распределение зубных паст в группах пациентов проводили следующим образом:

- возраст 4–7 лет: зубная паста R.O.C.S. Kids, основные активные компоненты — аминофторид (500 ppm) и ксилит; зубная паста Oral-B Stages, основной активный компонент — натрия фторид (500 ppm);
- возраст 8–18 лет (школьники): зубная паста Blend-a-med №1, основной активный компонент — натрия фторид (1450 ppm); зубная паста R.O.C.S., основные активные компоненты — глицерофосфат кальция, хлорид магния, ксилит и бромелаин;
- возраст 19–45 лет: зубная паста R.O.C.S., основные активные компоненты — глицерофосфат кальция, хлорид магния, ксилит и бромелаин; зубная паста Blend-a-med №1, основной активный компонент — натрия фторид (1450 ppm); зубная паста Blend-a-med №2, основные активные компоненты — триклозан и фторид натрия (1450 ppm); зубная

паста плацебо без активных компонентов (для сравнения);

- возраст 46–70 лет: зубная паста Blend-a-med №1, основной активный компонент — натрия фторид (1450 ppm); зубная паста R.O.C.S., основные активные компоненты — глицерофосфат кальция, хлорид магния, ксилит и бромелаин.

Уровень гигиены полости рта у обследуемых пациентов оценивали с помощью индекса Федорова-Володкиной, функциональное состояние эмали — с помощью метода определения скорости кислотной растворимости эмали по кальцию и клинического определения скорости реминерализации эмали (КОСРЭ-тест).

Высокоэффективная профилактика должна, прежде всего, учитывать первопричину заболеваний, то есть этиологический принцип, основанный на подавлении жизнедеятельности и болезнетворных свойств микроорганизмов, причастных к возникновению основных стоматологических заболеваний. В результате исследований мы проследили основные закономерности изменения кариесогенности зубного налета при применении опытных образцов зубных паст.

Через три месяца при оценке уровня гигиены полости рта у обследуемых пациентов с помощью индекса Федорова-Володкиной было выявлено, что гигиеническое состояние полости рта улучшилось во всех случаях, но наиболее выраженные положительные изменения наблюдались при использовании зубной пасты R.O.C.S. Kids. В группе пациентов 8–18 лет улучшение гигиены полости рта произошло во всех группах исследования, но наиболее выраженный эффект наблюдался в группе, использовавшей зубную пасту R.O.C.S., что говорит о более высоких противокариозных свойствах данной пасты ($p < 0,05$).

При сравнительной оценке средств профилактики выявлено, что у волонтеров, которые пользовались зубными пастами R.O.C.S. (19–45 лет) и R.O.C.S. Kids (4–7 лет), скорость реминерализации эмали возросла в 3,9 и 3,8 раза соответственно; в группе Blend-a-med №1 (19–45 лет) — в 3,6 раза, в группе R.O.C.S. (46–70 лет) — в 3,2 раза, что говорит о высоких реминерализующих способностях слюны под действием используемых зубных паст ($p < 0,05$). Ниже реминерализующие возможности паст были отмечены в группах Blend-a-med

№2 (19–45 лет), R.O.C.S. (8–18 лет) и Blend-a-med №1 (8–18 лет), где реминерализующая функция возросла в 2,7; 2,6 и 2,3 раза соответственно ($p < 0,05$). Еще ниже зарегистрированы значения в группах: Oral-B Stages (4–7 лет) и Blend-a-med №1 (46–70 лет) — улучшение реминерализации в 1,8 раза, а самые низкие показатели — улучшение реминерализации всего в 1,3 раза — в группе плацебо (19–45 лет) ($p < 0,05$). Данные исследования позволили сделать вывод о большем положительном влиянии на структурно-функциональную кариесрезистентность эмали зубов паст R.O.C.S. в возрастной группе 19–45 лет и R.O.C.S. Kids в возрастной группе 4–7 лет.

Результаты исследований, проведенных во всех группах пациентов через шесть месяцев и год после использования выбранных средств гигиены, в среднем остались на уровне, достигнутом в течение первых трех месяцев, что позволяет говорить о достоверной стабилизации положительного эффекта профилактических мероприятий, подтвержденной многочисленными диагностическими приемами.

Заключение

Нами было выявлено, что хорошая кумуляция в зубном налете минеральных компонентов, поступающих после действия нейтральных и слабощелочных зубных паст и необходимых для обменных процессов твердых тканей зуба, способствует их лучшему проникновению через эмалевые туннели, кристаллы гидроксипатита эмали в области эмалево-дентинной границы и в поверхностные слои дентина, что показали планарные спектрограммы.

В настоящее время идут исследования по воздействию электромагнитного поля на зубные пасты серии R.O.C.S., что будет способствовать полноценной профилактике кариеса, как индивидуальной, учитывая pH ротовой жидкости пациента и pH зубной пасты, так и массовой, учитывая, что pH такой пасты должен быть нейтральным или щелочным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофунг Е. М., Этин Д. А. Терапевтическая стоматология. — М.-Л.: Наркомздрав СССР, гос. мед. изд-во «Медгиз», 1938. — 485 с.
2. Gofung E. M., Entin D. A. Terapevticheskaia stomatologija. — М.-Л.: Narkomzdrav SSSR, gos. med. izd-vo «Medgiz», 1938. — 485 s.

2. Ипполитов Ю. А. Разработка и оценка эффективности методов нормализации обменных процессов твердых тканей зуба в условиях развития кариозного процесса: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — Воронеж, 2012.

Ippolitov Ju. A. Razrabotka i ocenka jeffektivnosti metodov normalizacii obmennyh processov tverdyh tkanej zuba v uslovijah razvitiya karioznogo processa: Avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. — Voronezh, 2012.

3. Кунин А. А., Ипполитов Ю. А., Беленова И. А., Олейник И. А. Роль морфо-химических исследований твердых тканей зубов в формировании теоретических предпосылок профилактики кариеса // Журнал теоретической и практической медицины. 2008. Т. 6. №1. С. 72–74.

Kunin A. A., Ippolitov Ju. A., Belenova I. A., Olejnik I. A. Rol' morfo-himicheskikh issledovanij tverdyh tkanej zubov v formirovanii teoreticheskikh predposylok profilaktiki kariesa // Zhurnal teoreticheskoy i prakticheskoy mediciny. 2008. T. 6. №1. S. 72–74.

4. Кунин А. А., Ипполитов Ю. А., Леонтьев В. К. и др. Значение микроструктуры и химического состава эмали зубов для качественного пломбирования / Актуальные вопросы стоматологии: материалы XVI обл. и гор. научно-практ. конф., 27–28 мая. Ч. 1. — Воронеж, 1999. — С. 40–42.

Kunin A. A., Ippolitov Ju. A., Leont'ev V. K. i dr. Znachenie mikrostruktury i himicheskogo sostava jemali zubov dlja kachestvennogo plombirovanija / Aktual'nye voprosy stomatologii: materialy XVI obl. i gor. nauchno-prakt. konf., 27–28 maja. Ch. 1. — Voronezh, 1999. — S. 40–42.

5. Кунин А. А., Ипполитов Ю. А., Некрылов В. А. Адаптационные возможности зуба в условиях инструментального воздействия и контакта с пломбировочными материалами / Стоматология славянских государств: материалы II междунар. научно-практ. конф. — Белгород, 2008. — С. 66–68.

Kunin A. A., Ippolitov Ju. A., Nekrylov V. A. Adaptacionnye vozmozhnosti zuba v uslovijah instrumental'nogo vozdejstvija i kontakta s plombirovochnymi materialami / Stomatologija slavjanskikh gosudarstv: materialy II mezhdunar. nauchno-prakt. konf. — Belgorod, 2008. — S. 66–68.

6. Кунин А. А., Леонтьев В. К., Ипполитов Ю. А. и др. Микрохимические аспекты минерального обмена твердых тканей зуба в условиях развития кариозного процесса / Материалы XII и XIII Всерос. науч.-практ. конф. и тр. IX съезда Стоматологической ассоциации России. — М., 2004. — С. 58–60.

Kunin A. A., Leont'ev V. K., Ippolitov Ju. A. i dr. Mikrohimicheskie aspekty mineral'nogo obmena tverdyh tkanej zuba v uslovijah razvitiya karioznogo processa / Materialy XII i XIII Vseros. nauch.-prakt. konf. i tr. IX s'ezda Stomatologicheskoy associacii Rossii. — M., 2004. — S. 58–60.

7. Кунин А. А., Соибелманн М., Ипполитов Ю. А. и др. Современные пломбировочные материалы: учебно-метод. пособие. — Воронеж, 2002. — 71 с.

Kunin A. A., Soibelman M., Ippolitov Ju. A. i dr. Sovremennye plombirovochnye materialy: uchebno-metod. posobie. — Voronezh, 2002. — 71 s.

8. Леонтьев В. К., Кунин А. А., Попова Т. А., Ипполитов Ю. А., Корецкая И. А., Ключникова Е. А. Особенности микрострук-

туры эмали и дентина интактных и кариозных зубов / Современные проблемы формирования учебной деятельности студентов медицинского вуза: сб. науч. тр. ВГМА. — Воронеж, 2002. — С. 59–62.

Leont'ev V. K., Kunin A. A., Popova T. A., Ippolitov Ju. A., Koreckaja I. A., Kljuchnikova E. A. Osobennosti mikrostruktury jemali i dentina intaktnyh i karioznyh zubov // Sovremennye problemy formirovanija uchebnoj dejatel'nosti studentov medicinskogo vuza: sb. nauch. tr. VGMA. — Voronezh, 2002. — S. 59–62.

9. Лукомский И. Г. Терапевтическая стоматология. — М.: Гос. изд-во мед. лит-ры «Медгиз», 1955.

Lukomskij I. G. Terapevticheskaja stomatologija. — M.: Gos. izd-vo med. lit-ry «Medgiz», 1955.

10. Kunin A. A., Leontiev V. K., Popova T. A., Koretskay I. V., Ippolitov Yu. A., Zoibelman M., Agapov B. L., Nekrylov V. A. Scanning electron microscopy and microchemical analysis of enamel and caries under low-intensity laser irradiation influence // European biomedical optics week, BIOS Europe, abstract book, 4–9 July. №4159. — Amsterdam, 2000. — P. 23.

11. Moiseeva N. S., Kunin A. A., Kunin D. A. The new direction in caries prevention based on the ultrastructure of dental hard tissues and filling materials // Springer EPMA-Journal. 2016. Vol. 7. Suppl. 1:9. [Электронный ресурс]. — URL: <http://epmajournal.biomedcentral.com/articles/supplements/volume-7-supplement-1> (Published: 9 May 2016).

Поступила 24.04.2017

**Координаты для связи с авторами:
394036, г. Воронеж,
ул. Студенческая, д. 10**

СТИЛЬ • БЕЗОПАСНОСТЬ • КОМФОРТ

hogies™

**НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА
ГЛАЗ ВРАЧА
И ПАЦИЕНТА**

STOMPROM.RU Тел.: 8 800 200 6131 (звонок по РФ бесплатный)
уполномоченный представитель в России e-mail: sale@stomprom.ru, www.stomprom.ru