

УДК 616.314.17-008.1-036.11/.12:616.311-002.72-092  
DOI: 10.26435/UC.V012 (27).168

**В.В. Глинкин<sup>1</sup>, В.В. Клемин<sup>1</sup>, В.В. Бурховецкий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

<sup>2</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», Донецк

## ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОПЛЕНКИ ЗДОРОВЫХ И ПОРАЖЕННЫХ КАРИОЗНЫМ ПРОЦЕССОМ ЗУБОВ

Изучению структуры твердых тканей зуба посвящены многочисленные исследования [1, 5]. Минеральную основу эмали составляют кристаллы апатитов. При соотношении Са/Р 1,33 структура гидроксиапатита разрушается. Замещение, например, молекулы Са на Сг, Ва, Мг или другой микроэлемент приводит к уменьшению в кристалле доли Са, что повышает риск возникновения кариеса. Было доказано, что при низком содержании фтора в структуре эмали место этого микроэлемента может заполнить другой, например, лантан [8].

В основе патогенеза кариеса лежит деминерализация эмали. В начальной стадии этот процесс обратим, но зависит от многих факторов: состава и свойств ротовой жидкости, белковой матрицы. Морфологической структуре эмали, особенностям её химического состава и текстуры, принадлежит ведущая роль в формировании резистентности зубов к кариесу [4, 10]. Эмаль кариесрезистентных и кариесподверженных лиц не отличается по качественному элементному составу, однако количество тех или иных элементов в эмали различно [7].

Важную роль в этиологии многих заболеваний, в том числе и стоматологических, играет биопленка [12]. Полость рта обладает идеальными условиями для роста колоний, т.к. содержит большое количество питательных веществ, оптимальную влажность и температурные условия. Все зубы в той или иной мере покрыты биопленкой, состоящей из конгломерата колоний микроорганизмов, погруженных во внутриклеточный матрикс и прикрепленных к поверхности зуба [14]. В состав таких колоний микрофлоры входят и микрочастицы, содержащие различные микроэлементы, которые попадают в зубной налет из различных источников (вода, пищевые остатки, компоненты зубных паст). Составляющие зубных паст повышают кариесрезистентность, способствуют реминерализации эмали, уменьшают образование зубного налета.

Хлор в большом количестве содержится в ополаскивателях полости рта [11].

Биопленки могут абсорбировать ионы кальция и фосфаты из слюны, что способствует образованию зубного камня [9]. Исследования зарубежных авторов показали, что реминерализация эмали происходит в результате химических реакций, протекающих во время кислых состояний (критический рН), и определяются пересыщением кальция и фосфата в пределах блестящей и слюны, а также присутствием фторида [13].

Известно, что ионы Na играют важную роль в межклеточном обмене, а совместно с Cl играют роль в секреции кислот. NaCl содержится в плазме крови, а его уменьшение приводит к нарушению обмена веществ [17]. Соотношение ионов Na, Cl и K важно для формирования разницы потенциалов на мембранах клеток, поддержания постоянного осмотического давления, объема жидкости и кислотно-щелочного равновесия [15]. Si играет огромную роль в процессе усвоения организмом таких микроэлементов, как Na, K, Ca, Mg. Так, например, при переломах костей его содержание в организме резко повышается. Микроэлементы Si и Zn содержатся в зубных пастах. Они способствуют удалению зубного налета и запаха изо рта [16]. Повышение уровня Mg свидетельствует о деминерализации эмали, т.к. этот элемент конкурирует с Са за место в кристаллической решетке [2]. Фосфаты Са и Mg обладают хорошими сорбционными свойствами, а их взаимное влияние друг на друга приводит к искажению кристаллических структур исходных соединений, что вызывает увеличение растворимости этих соединений [3]. По мнению ряда исследователей, снижение степени проницаемости эмали прямо пропорционально увеличению количества P, Zn, Ca, F на поверхности эмали [6].

© В.В. Глинкин, В.В. Клемин, В.В. Бурховецкий, 2018  
© Университетская Клиника, 2018

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить морфологические особенности и элементный состав биопленки здоровых и пораженных кариозным процессом зубов с целью определения микроэлементов, оказывающих влияние на зарождение и развитие кариеса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследования отбирали с поверхности 36 зубов у 10 пациентов возрастом от 22 до 71 года, из них 1 мужчина и 9 женщин, явившихся на прием к стоматологу. Исследования проводились с информационного согласия пациентов. Забор материала проводили у всех пациентов с вестибулярной поверхности исследуемых зубов, ничем предварительно не обработанных, в первой половине дня после приема пищи и гигиенических утренних процедур. Забор материала проводили как со здоровых зубов, так и зубов, пораженных кариозным процессом. Образцы биопленки отбирали при помощи углеродного токопроводящего двустороннего скотча, предварительно поделенного на прямоугольники размером 5-7 на 3-4 мм, одну поверхность которого фиксировали с помощью стерильного пинцета из стоматологического набора на вестибулярной поверхности зуба в течение 2-3 секунд с последующим перенесением ленты с отобранным материалом на смотровое стекло. Затем контактировавшую с зубом поверхность скотча напыляли углеродом в вакуумной установке ВУП-5А. Исследования проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6490LV (JEOL, Япония) с энергодисперсионной приставкой INCA Penta FETx3 (OXFORD Instruments, Англия). Был определен элементный состав биопленки зубов в виде процентного соотношения весовых количеств обнаруженных микроэлементов.

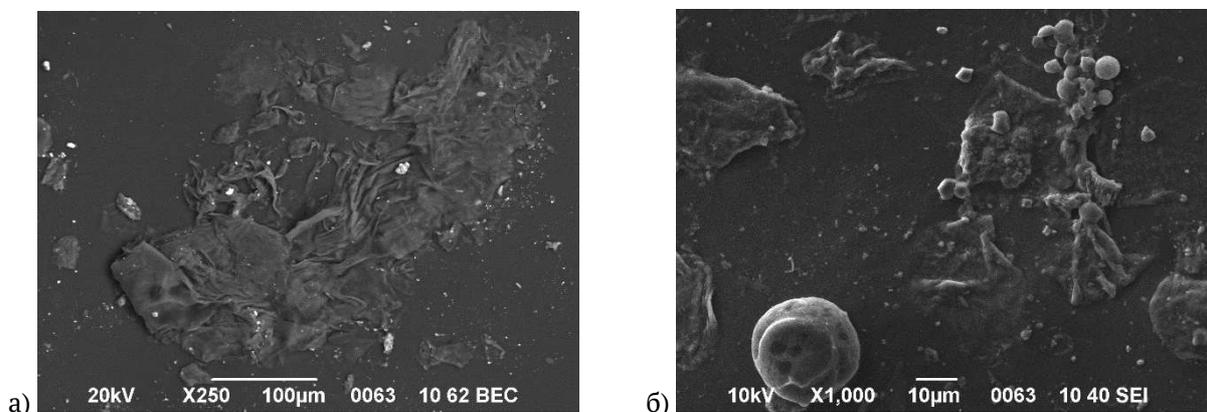
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные нами образцы биопленки зубов, показали, что она в больших количествах располагается на их поверхности, неоднородна по своей структуре: разной плотности и толщины, имеет неровные контуры (рис. 1.). Не все микроэлементы присутствуют повсеместно во всех зубах, даже в пределах одного зуба их распределение неоднородно как качественно, так и количественно. Даже в образце, взятом с одного участка зуба, процентный состав одного и того же микроэлемента, например, Si, P, Ba значительно отличается и зависит от внедренных в биопленку микрочастиц.

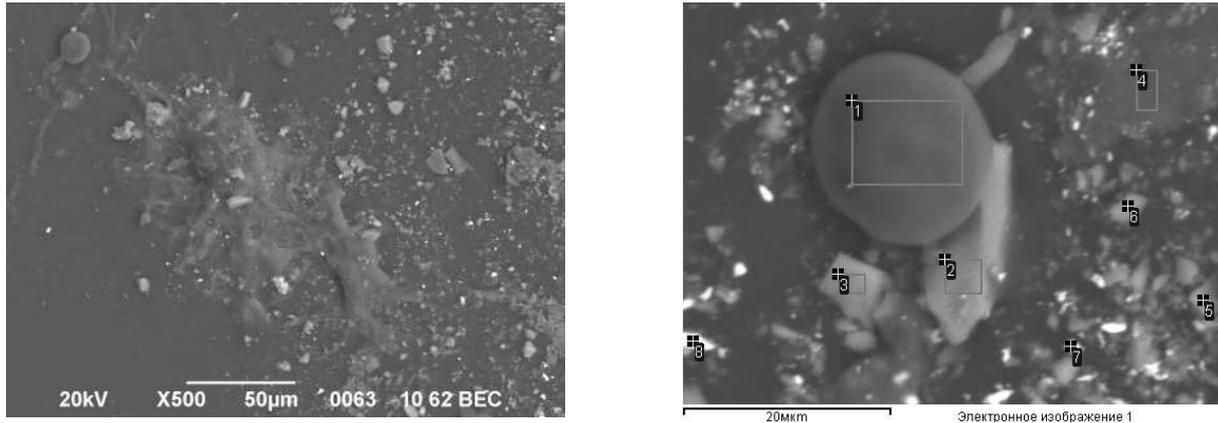
В результате исследования на всех отобранных образцах биопленки были выявлены микрочастицы различной морфологии (рис. 2.). Необходимо отметить, что при надлежащем гигиеническом уходе за полостью рта у всех обследованных пациентов существенной разницы в качественном микроэлементном составе биопленки, покрывающей здоровые зубы, пораженные кариесом и ранее пломбированные не обнаружено, но в количественном составе микроэлементов биопленки здоровых и пораженных зубов обнаружена существенная разница.

В биопленке здоровых зубов обнаружены мелкие частицы, содержащие такие элементы, как Al, Si, Ca, Fe, P, Na. Для зубов, пораженных кариесом, характерно наличие микрочастиц трех типов, происхождение которых можно предположить по их составу: Si содержащие (зубная паста), Ba и Zn содержащие (частицы из пломбировочных материалов), Ca и P содержащие (частички эмали) (табл. 1.).

Минеральный состав самой биопленки (табл. 2.) для здоровых зубов и зубов, пораженных кариозным процессом, практически совпадает. Однако в составе биопленки пораженных



**Рис. 1.** Морфологические особенности биопленки в пришеечной области вестибулярной поверхности 47 зуба. СЭМ. Контраст в обратно рассеянных (BEI) (а) и вторичных (SEI) (б) электронах. Увеличение: x250 (а), x1000 (б).



**Рис. 2.** Морфологические особенности биопленки, отобранной из кариозной полости 33 зуба с апикальным периодонтитом (наблюдается биопленка с включениями твердых микрочастиц неправильной формы). СЭМ. Контраст в обратно рассеянных электронах (BEI). Масштаб указан на рисунке.

зубов отмечено более чем двукратное превышение содержания практически всех обнаруженных микроэлементов таких, как Na, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mg и Zn. Необходимо отметить, что, например, количество натрия и калия в биопленке зубов, пораженных кариозным процессом, увеличено в несколько раз (Na – в 2,4 раза, K – почти в 3). Наличие C и O в составе биопленки подтверждает ее органическое происхождение и не имеет существенных различий.

Можно предположить, что повышенное содержание ионов P, Na, Zn, Ca, F в биопленке зубов, пораженных кариозным процессом, свидетельствует о снижении проницаемости эмали, а повышенное содержание ионов Mg в биопленке

этих зубов, свидетельствует о процессе деминерализации эмали. Возможно, что при определенных обстоятельствах в зубе изменяется минеральный состав, ведущий к нарушению клеточной константы, отражающийся на секреции ликвора, и, как следствие, приводящий к разрушению тканей зуба и развитию кариозного процесса. Можно предположить, что ведущая роль в этом процессе отводится изменению содержания микроэлементов в биопленке.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате исследования можно сделать выводы.

1. На всех отобранных образцах биопленки

**Таблица 1.**

Усредненные показатели микроэлементного состава частиц, лежащих на биопленке зубов, пораженных кариозным процессом

Тип включений	C	O	F	Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Zn	Ba
Si содержащие	42,88	36,80	1,08	0,95	1,59	14,90	0,25	0,05	0,08	0,11	0,41	0,16	0,14	0,60
Ba-Zn содержащие	56,49	21,55	0,30	0,78	0,42	1,81	0,91	1,56	0,06	0,07	0,49	0,00	6,79	8,77
Ca-P содержащие	43,01	28,05	0,00	0,69	0,04	0,38	8,38	0,13	0,35	0,13	17,96	0,00	0,78	0,00

Примечание: здесь и далее данные элементного анализа представлены по данным микрорентгеноспектрального анализа в весовых %

**Таблица 2.**

Усредненные показатели микроэлементного состава биопленки здоровых зубов (1) и зубов, пораженных кариозным процессом (2)

	C	O	Na	Mg(F)	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Zn	Ba
1	78,56	19,62	0,17	0,01	0,03	0,04	0,15	0,24	0,29	0,20	0,14	0,10	0,30	0,15
2	75,48	20,63	0,41	0,07	0,06	0,20	0,25	0,44	0,93	0,59	0,28	0,04	0,53	0,09

обнаружены микрочастицы различной морфологии.

2. Наличие С и О в составе биопленки подтверждает ее органическое происхождение и не имеет существенных различий.

3. При надлежащем гигиеническом уходе за полостью рта у всех обследованных пациентов обнаружена существенная разница в количественном составе микроэлементов биопленки здоровых и пораженных зубов.

4. В биопленке здоровых зубов обнаружены мелкие частицы, содержащие Al, Si, Ca, Fe, P, Na.

5. Для зубов, пораженных кариесом, характерно наличие микрочастиц трех типов, происхождение которых можно предположить по их

составу: Si-содержащие (зубная паста), Ba- и Zn-содержащие (частицы из пломбировочных материалов), Ca- и P-содержащие (частицы эмали).

6. Минеральный состав биопленки для здоровых зубов и зубов, пораженных кариозным процессом, практически совпадает. Однако в составе биопленки пораженных зубов отмечено более чем двукратное превышение содержания практически всех обнаруженных микроэлементов таких, как Na, Si, P, S, Cl, K, Ca и Zn.

7. Для изучения вопроса о роли биопленки в развитии кариозного процесса в зубе необходимо проведение дальнейших исследований.

**В.В. Глинкин<sup>1</sup>, В.А. Клемин<sup>1</sup>, В.В. Бурховецкий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

<sup>2</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», Донецк

#### **ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОПЛЕНКИ ЗДОРОВЫХ И ПОРАЖЕННЫХ КАРИОЗНЫМ ПРОЦЕССОМ ЗУБОВ**

В статье представлены данные сканирующей электронной микроскопии биопленки зубов. В состав биопленки входят не только бактерии, но и микроэлементы. Изучение вопроса о наличии микроэлементов и их количественном составе в биопленке здоровых и пораженных кариозным процессом зубов позволяет понять всю сложность процессов, проходящих на зубной поверхности и оказывающих влияние на развитие и течение патологического процесса в твердых тканях зуба. В результате исследования на всех отобранных образцах биопленки были выявлены микрочастицы различной морфологии. Минеральный состав самой биопленки для здоровых зубов

и зубов, пораженных кариозным процессом, практически совпадает. Однако в составе биопленки пораженных зубов отмечено более чем двукратное превышение содержания практически всех обнаруженных микроэлементов таких, как Na, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mg и Zn. Наличие С и О в составе биопленки подтверждает ее органическое происхождение и не имеет существенных различий.

**Ключевые слова:** биопленка зуба, кариозный процесс, микроэлементы.

**V.V. Glinkin<sup>1</sup>, V.A. Klemin<sup>1</sup>, V.V. Burkhovetsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SEI HPE «M. Gorky Donetsk National Medical University», Donetsk

<sup>2</sup>SI «A.A. Galkin Donetsk Institute of Physics and Technology», Donetsk

#### **FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF BIOFILMS OF HEALTHY TEETH AFFECTED BY CARIOSITY**

The article presents data of scanning electron microscopy of biofilms of teeth. The biofilm composition includes not only bacteria, but also trace substances. The study of the presence of trace substances and their numerical composition in the biofilm of healthy teeth affected by the cariosity makes it possible to understand the complexity of the processes occurring on the tooth surface and affecting the development and course of the pathological process in the hard tissues of the tooth. As a result of the study, microparticles of different mor-

phology were detected on all selected biofilm samples. The mineral composition of the biofilm itself for healthy teeth and teeth affected by the cariosity is almost identical. However, in the biofilm of the affected teeth, more than twice the content of almost all trace elements, such as Na, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mg and Zn, was detected. The presence of C and O in the biofilm confirms its organic origin and has no significant differences.

**Key words:** tooth biofilm, cariosity, trace substances.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Антонова И.Н., Гончаров В.Д., Кипчук А.В., Боброва Е.А. Опыт исследования твердых тканей зуба с помощью атомно-силовой микроскопии. *Стоматология*. 2014; 4: 11-14.
2. Заболотная И.И. Химический состав поверхностной эмали зубов с клиновидным дефектом в зависимости от глубины микротрещин. Сборник научных трудов SWorld. 2014; 32 (4): 38-43.
3. Иванец А.И. Сорбционные и каталитически активные материалы на основе природного доломита: получение, свойства, применение. Минск : Беларуская навука; 2016. 212.
4. Ипполитов Ю.А., Лукин А.Н., Середин П.В. Исследования методом ИК-спектроскопии с использованием синхротронного излучения интактных и пораженных кариозным процессом эмали и дентина человеческого зуба. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012; 19 (2): 343-346.
5. Кльомін В.А., Борисенко А.В., Іщенко П.В., Кльоміна В.В. Морфофункціональна та клінічна оцінка зубів з дефектами твердих тканин. Вінниця: НОВА КНИГА; 2005. 128.
6. Кравец Т.П. Кальций и фтор: какой из них более для зубов ценен? *Стоматолог*. 2004; 10 (78): 19-23.
7. Михайкина Н.И. Особенности строения интактной зубной эмали у лиц с различным уровнем устойчивости к кариесу. *Здравоохранение Югры: опыт и инновации*. 2016; 3: 13-17.
8. Падалка А.І. Вплив рідкоземельного елементу на мікроструктуру та мікроелементний склад емалі зуба. *Молодий вчений*. 2014; 9 (12): 142-146.
9. Побожьева Л.В., Колецкий И.С. Роль биопленки в патогенезе воспалительных заболеваний полости рта и способы ее устранения. *Лечебное дело*. 2012; 2: 9-14.
10. Ронь Г.И., Вотяков С.Л., Мандра Ю.В., Киселева Д.В. Морфологические структуры твердых тканей зубов человека. Екатеринбург: УГМ; 2012. 148.
11. Терапевтическая стоматология. Болезни зубов : Учебник в 3 ч. / под ред. Е.А. Волкова, О.О. Янушевича. М. : ГЭОТАР-Медиа; 2012. Ч. 1. 168.
12. Dietrich T., Garcia R.I. Associations between periodontal diseases and systemic disease: evaluating the strength of the evidence. *J. Periodontol*. 2005; 76: 3175-3184.
13. Hicks J., Garcia-Godoy F., Flaitz C. Biological factors in dental caries [structure and the caries process in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 2)]. *J. Clin. Pediatr. Dent*. 2004; 28 (2): 119-124.
14. Wong G.C.L., O'Toole G.A. All together now: Integrating biofilm research across disciplines. *MRS Bulletin*. 2011; 36: 339-342.
15. Калий. URL: <https://moydietolog.ru/kaliy> (Дата обращения: 28.03.2018).
16. Кремний (Si) – биологическая роль, польза, суточная потребность. URL: [http://sportklas.ru/view\\_articles.php?id=60&style=food,minerals](http://sportklas.ru/view_articles.php?id=60&style=food,minerals) (Дата обращения: 28.03.2018).
17. Роль натрия в организме. Эффективная медицина. URL: <https://www.medeffect.ru/vitamin/vitamin-0125.shtml> (Дата обращения: 28.03.2018).

**REFERENCES**

1. Antonova I.N., Goncharov V.D., Kipchuk A.V., Bobrova E.A. Opyit issledovaniya tverdyih tkaney zuba s pomoschyu atomno-silovoy mikroskopii [Experience of a research of firm tissues of tooth by means of an atomic-powered microscopy]. *Stomatologiya*. 2014; 4: 11-14 (in Russian).
2. Zabolotnaya I. I. Himicheskiy sostav poverhnostnoy emali zubov s klinovidnyim defektom v zavisimosti ot glubiny mikrotreschin [Chemical composition of a superficial enamel of teeth with clinoid defect depending on depth of microcracks]. *Sbornik nauchnyih trudov SWorld*. 2014; 32 (4): 38-43 (in Russian).
3. Ivanets A.I. Sorbtionnyie i kataliticheski aktivnyie materialy na osnove prirodnoho dolomita: poluchenie, svoystva, primenenie [Sorbtion and catalytically active materials on the basis of natural dolomite: receiving, properties, use]. *Minsk : Belaruskaya navuka*; 2016. 212 (in Russian).
4. Ippolitov Yu.A., Lukin A.N., Seredin P.V. Issledovaniya metodom IK-spektromikroskopii s ispolzovaniem sinhrotronnoho izlucheniya intaktnyih i porazhennyih karioznyih tsesom emali i dentina chelovecheskogo zuba [Researches by method IK-spektromikroskopii with use of synchrotron radiation intact and struck with carious process of an enamel and dentine of human tooth]. *Vestnik novyih meditsinskih tehnologiy*. 2012; 19 (2): 343-346 (in Russian).
5. Klomin V.A., Borisenko A.V., Ischenko P.V., Klomina V.V. Morfofunktsionalna ta klinichna otsinka zubiv z defektami tverdiyh tkanin [Morpho-functional and clinical assessment of teeth with defects of firm tissues]. *Vinnitsya: NOVA KNIGA*; 2005. 128 (in Ukraine).
6. Kravets T.P. Kaltsiy i ftor: kakoy iz nih bolee dlya zubov tsenen [Calcium and fluorine: what of them more is valuable to teeth]? *Stomatolog*. 2004; 10 (78): 19-23 (in Russian).
7. Miheykina N.I. Osobennosti stroeniya intaktnoy zubnoy emali u lits s razlichnyim urovnem ustoychivosti k kariestu [Features of a structure of an intact adamantine substance of tooth at persons with various level of fastness to caries]. *Zdravoohranenie Yugryi: opyt i innovatsii*. 2016; 3: 13-17 (in Russian).
8. Padalka A.I. Vpliv rldkozemelnoho elementu na mikrostrukturu ta mikroelementniy sklad emali zuba [Influence of rare earth element on microstructure and trace element composition of tooth enamel]. *Molodiy vcheniy*. 2014; 9 (12): 142-146 (in Ukraine).
9. Pobozheva L.V., Kopetskiy I.S. Rol bioplenki v patogeneze vospalitelnyih zabolevaniy polosti rta i sposoby ee ustraneniya [Biomembranula role in a pathogenesis of inflammatory diseases of an oral cavity and ways of its elimination]. *Lechebnoe delo*. 2012; 2: 9-14 (in Russian).
10. Ron G.I., Votyakov S.L., Mandra Yu.V., Kiseleva D.V. Morfoloicheskie strukturyi tverdyih tkaney zubov cheloveka [Morphological structures of firm tissues of teeth of the person]. *Ekaterinburg: UGM*; 2012. 148 (in Russian).
11. Terapevticheskaya stomatologiya. Bolezni zubov : Uchebnik v 3 ch. / pod red. E.A. Volkova, O.O. Yanushevicha [Therapeutic odontology. Illnesses of teeth: Textbook]. *M. : GEOTAR-Media*; 2012. Ch. 1. 168 (in Russian).
12. Dietrich T., Garcia R.I. Associations between periodontal diseases and systemic disease: evaluating the strength of the evidence. *J. Periodontol*. 2005; 76: 3175-3184.
13. Hicks J., Garcia-Godoy F., Flaitz C. Biological factors in dental caries [structure and the caries process in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 2)]. *J. Clin. Pediatr. Dent*. 2004; 28 (2): 119-124.
14. Wong G.C.L., O'Toole G.A. All together now: Integrating biofilm research across disciplines. *MRS Bulletin*. 2011; 36: 339-342.
15. Kaliy [potassium]. URL: <https://moydietolog.ru/kaliy> (Data obrascheniya: 28.03.2018) (in Russian).
16. Kremniy (Si) – biologicheskaya rol, polza, sutochnaya potrebnost [silicon (Si) – a biological role, advantage, daily requirement]. URL: [http://sportklas.ru/view\\_articles.php?id=60&style=food,minerals](http://sportklas.ru/view_articles.php?id=60&style=food,minerals) (Data obrascheniya: 28.03.2018) (in Russian).
17. Rol natriya v organizme [Sodium role in an organism]. *Effektivnaya meditsina*. URL: <https://www.medeffect.ru/vitamin/vitamin-0125.shtml> (Data obrascheniya: 28.03.2018) (in Russian).