

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5034904/>. – Дата обращения: 20.03.2023.

9. Demineralization & Remineralization of Teeth - Drubi Orthodontics [Электронный ресурс ]. – Режим доступа: <https://www.drubiorthodontics.com/how-to-stop-demineralization-of-teeth/>. – Дата обращения: 17.03.2023.

10. Dental Caries – The Selection of Restoration Methods and Restorative Materials [Электронный ресурс ]. – Режим доступа: [Dental Caries - The Selection of Restoration Methods and Restorative Materials | IntechOpen](https://www.intechopen.com/entry/dental-caries-the-selection-of-restoration-methods-and-restorative-materials). – Дата обращения: 23.03.2023.

11. Keratins as components of the enamel organic matrix [Электронный ресурс ]. – Режим доступа: [Keratins as components of the enamel organic matrix - PMC \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35411111/). – Дата обращения: 23.03.2023.

## **ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ПОЛОСТИ РТА. ЗУБНОЙ НАЛЕТ.**

**Балобан С.И., Майсюк И.С., Юзефович О.Н.**

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Большинство нежелательных образований в полости рта связывают с негативным влиянием зубного налета. Он состоит из продуктов жизнедеятельности бактерий, отмерших клеток слизистой оболочки рта, остатков пищи, лейкоцитов и белковых молекул из слюны. Минерализация зубного налета приводит к образованию зубного камня, а размножающиеся бактерии вызывают воспаление тканей и развитие кариеса. В дальнейшем эти процессы могут привести к заболеваниям других внутренних органов.

Результаты исследования глобального рейтинга болезней, опубликованные журналом Lancet в 2017 году, показали, что среди 330 заболеваний первое место занимает постоянный кариес. Это самая распространённая болезнь в мире, ей страдают 35% взрослого населения планеты (2,5 млрд человек). Современные статистические данные показывают, что молодое поколение, как правило, обращается за стоматологической помощью к специалисту только в случае возникновения острой зубной боли. Но нужно понимать, что зубной налет не исчезнет сам по себе. Вакцины, защищающей от него, не существует. Никакие новые технологии не заменят ежедневную гигиену зубов. Поэтому на данном этапе важной задачей является информирование населения. Наличие поверхностных образований во рту может вызывать психологический и социальный дискомфорт, так как, общепризнано, что неприятный запах изо рта возникает в результате бактериального метаболизма белковых субстратов, присутствующих в полости рта, что приводит к образованию пахучих соединений, таких как сероводород, метилмеркаптан и диметилсульфиды. Знания о химическом составе

поверхностных образований во рту необходимы всем, ведь практически каждый сталкивался с ними. Исследуя химический состав и механизм возникновения нежелательных образований во рту, мы сможем эффективнее с ними бороться и предотвращать их появление.

### **Поверхностные образования на зубах**

На поверхности зуба различают следующие образования: кутикула, пелликула, зубной налет, зубной камень.

Первичная кутикула исчезает на поверхности зуба сразу после прорезывания, в силу чего играет незначительную роль в жизни зуба в ротовой полости. Структуры, приобретенные после прорезывания зуба, представляют собой два слоя кутикулы, окрашенную пелликулу и зубной налет. Поверхностная кутикула имеет толщину 0,2 мкм, пелликула — от 1 до 10 мкм и зубной налет — от 5 до 200 мкм. Пелликула содержит глицин, гликопротеиды, отдельные аминокислоты (аланин, глутаминовую кислоту), аминоксахара, которые образуются вследствие жизнедеятельности бактерий. Далее мы опишем более подробно структуру и химический состав зубного налета и зубного камня.

**Зубной налет** — это биопленка или покрытие, состоящее из колоний *Streptococcus mutans*, *Str.salivarius*, *Str.sanguis*, *Str.mitis* и других микроорганизмов, которое регулярно покрывает наши зубы. Большая часть зубного налета связана с застойными областями поверхности зуба, такими как фиссуры, апроксимальные области между зубами и десневые щели. В 1 мг вещества ЗН находится  $5 \cdot 10^8$  микробных клеток. *Str.mitis* — 37% от всей сухой массы. Со временем налет на зубах может превратиться в зубной камень, удалить который гораздо труднее. Накопление зубного налета и зубного камня может привести к более высокому риску развития кариеса, воспаления десен, гингивита и других проблем в полости рта.

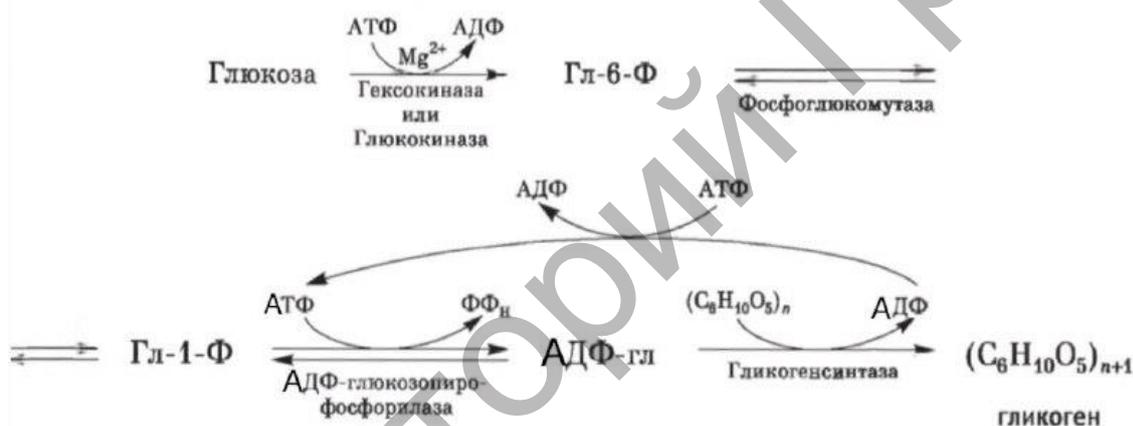
С начала XX века предпринимались неоднократные попытки разработать упрощенные методы исследования образования зубного налета. Для этой цели использовали разнообразные окрашивающие растворы, начиная от йода с глицерином и, заканчивая, флюоресцеином. На данный момент активно используется обработка зубов растворами фуксина, эритрозина, генцианового фиолетового, кристаллического фиолетового и ряда других красителей, благодаря которым можно визуально определить площадь окрашивания зубов, которая коррелирует с интенсивностью образования зубного налета.

### **Причины образования зубного налета**

Процесс образования зубного налета начинается с употребления нами богатых углеводами продуктов и напитков, таких как соки, безалкогольные напитки, хлеб, чипсы, конфеты и др. Как только частицы пищи вступают в контакт с бактериями, на поверхности эмали образуется зубной налет, а также вырабатываются кислоты. Если не почистить зубы после приёма пищи или питья, кислоты начнут растворять зубную эмаль.

В слюне обнаружены производные белков, которые принимают участие в возникновении ЗН. К ним можно отнести лизоцим, альбумин, амилазу, а также иммуноглобулины А, G, М.

Химический состав зубного налета в значительной степени варьирует в различных участках полости рта и у разных людей. На 1 мг сухой массы зубного налета приходится 3,37 мкг кальция, 8,37 мкг фосфора, 4,20 мкг калия и 1,30 мкг натрия. С помощью центрифугирования зубной налет можно разделить на клеточную и бесклеточную фракции. При центрифугировании (3000 об/мин в течение 5 мин) с последующей фильтрацией надосадочной жидкости через миллиметровые фильтры получают бесклеточную фракцию, которая при электронной микроскопии имеет тонкую зернистую ультраструктуру. Клеточная фракция представлена главным образом бактериями, которые в процессе своей жизнедеятельности создают запас питательных веществ в виде гликогена. Синтез гликогена бактериями ротовой полости отличается тем, что вместо макроэрга УТФ используется АТФ и получается АТФ-глюкоза.



*Streptococcus mutans* был признан основным кариесогенным микроорганизмом у людей. Диетическое ограничение углеводов также приводит к снижению *S. mutans* и йодофильных микроорганизмов, накапливающих полисахариды в зубном налете. Известно, что детям с врожденным повышенным содержанием сахарозы рекомендуется ограничивать количество сахара в рационе, поэтому они реже болеют кариесом, чем здоровые дети аналогичного возраста. Таким образом, *S. mutans* не удалось обнаружить в зубном налете у 40% этих детей.

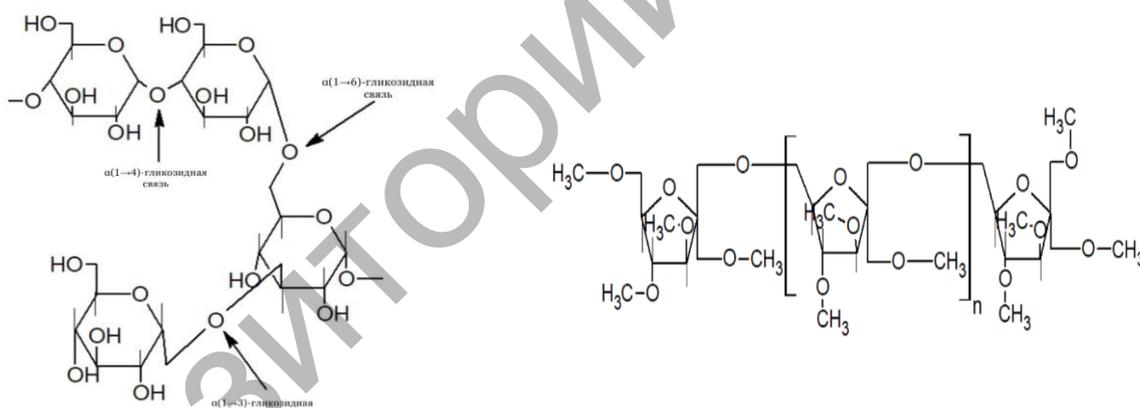
### Механизм образования зубного налета

В процессе прикрепления бактерий к поверхности зуба участвуют различные физико-химические взаимодействия. Микроорганизм изначально притягивается к поверхности силами Ван-дер-Ваальса и за счет электростатического притяжения ионов противоположного знака. Эти силы обладают низкой специфичностью и допускают лишь слабое прикрепление микроорганизмов к поверхности ткани.

Считается, что молекулы клеточной поверхности бактерий, известные как **адгезины**, взаимодействуют со специфическими рецепторами на субстрате. Р.

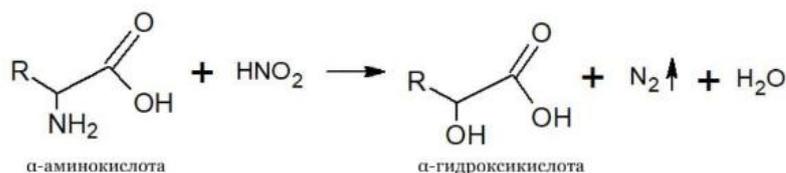
Гиббонс (1984) предположил, что прочная связь возникнет, когда достаточное количество таких взаимодействий преодолевает силы отталкивания. Некоторые бактерии полости рта, возможно, прикрепляются к поверхностям с помощью нитевидных отростков, известных как фимбрии, и гораздо более коротких и слипшихся фибрилл.

Классические исследования выявили две стадии микробной адгезии: **обратимая сорбция**, которая представляет собой мгновенное притяжение микроорганизмов к поверхности, за которой следует **необратимая сорбция**, которая включает биологически специфические реакции, обеспечивающие прочную адгезию микроорганизмов к поверхности. Обратимая сорбция может происходить в результате броуновского движения, осаждения микроорганизмов из потока жидкости, в то время как на необратимую сорбцию влияют рН и ионная сила суспендирующей среды. Одновременно с этим растет активность гидролитических ферментов, в частности гликозидаз (они расщепляют углеводы) и протеиназ (гидролизуют пептидные связи в белках). Следствием полного гидролиза белков является образование свободных аминокислот. Моносахариды, которые получены под действием ферментов гликозидаз, используются микроорганизмами для создания липких внеклеточных полисахаридов —гликанов (декстрана и левана).



- Структурная формула декстрана, разветвленного полисахарида, образованного из остатков глюкозы.
- Полисахарид леван состоит из остатков фруктозы и остатка сахарозы, быстро гидролизуется левоназой

Катаболизм аминокислот приводит к выщелачиванию зубного налета за счет процессов, сопровождающихся образованием аммиака, таких как:



- дезаминирование аминокислот:



основном из белков и липидов (жирных кислот, триглицеридов, гликолипидов и фосфолипидов), а также из внеклеточной ДНК.

Следует отметить, что процессы образования зубного камня из зубного налета в настоящее время изучены недостаточно. Наддесневые образования наиболее обильны на щечных поверхностях моляров верхней челюсти и на язычных поверхностях резцов нижней челюсти. В этих областях наблюдается обильное слюноотделение из-за их близости к околоушным и подъязычным слюнным железам. Поддесневой зубной камень формируется ниже линии десны и обычно имеет темный цвет из-за присутствия черных пигментированных бактерий, клетки которых покрыты слоем железа, полученного из гема во время кровоточивости десен. Зубной камень обычно формируется в виде дополнительных слоев, которые хорошо видны как с помощью электронной микроскопии, так и с помощью световой микроскопии. Эти слои формируются во время периодической кальцификации зубного налета. Образование зубного камня широко варьируется у разных людей и в разных местах во рту. Было выявлено множество факторов, влияющих на образование зубного камня, включая возраст, пол, этническую принадлежность, диету, расположение в полости рта, гигиену полости рта, состав бактериального налета, генетику зуба хозяина, доступ к профессиональной стоматологической помощи, физические недостатки, системные заболевания, употребление табака, наркотиков и лекарств.

### **Роль фтора в ротовой полости**

Ионы фтора широко используются при лечении стоматологических заболеваний, в частности, кариеса благодаря его антикариесогенным и противомикробным свойствам. Антибактериальное действие фтора происходит из-за подкисления бактериальной цитоплазмы через образование ионов  $H^+$  и  $F^-$  из фтористого водорода и нарушения бактериального метаболизма путем ингибирования жизненно важных бактериальных веществ (например, сульфаниламидов), а также высвобождения аденозинтрифосфатазы и енолазы. Более активная роль  $F^-$  заключается в образовании  $CaF_2$ , снижении гиперчувствительности, пролиферации остеобластов и более прочной фиксации кости. К основным антимикробным и реминерализующим свойствам  $F^-$  в полости рта относятся:

- снижение деминерализации за счет ингибирования роста микробов;
- содействие реминерализации и образованию минерала фторапатита  $Ca_{10}(PO_4)_6(F)$ , который по сравнению с гидроксиапатитом  $Ca_5(PO_4)_3OH$ , более устойчив к деминерализации и растворению в кислоте после выделения кислот бактериями;
- ингибирование ферментов, а именно снижение синтеза протеазы IgA;
- снижение продукции внеклеточных полисахаридов, что помогает уменьшить адгезию бактерий к твердым тканям зуба.

Существует полифосфатная теория кариеса зубов, согласно которой микроорганизмы, живущие на поверхности зубов, накапливают внутри клеток полифосфаты. Энергия для образования полифосфатов образуется за счет

распада углеводов. После омертвения бактериальной клетки и ее распада, полифосфаты освобождаются и благодаря своим хелатионным свойствам связывают кальций гидроксиапатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , приводя к деминерализации эмали.

В норме масса фтора в организме человека составляет около 7 мг; наибольший процент его содержания — в костной ткани, зубах и ногтях. Средняя концентрация фтора в зубном налете составляет 6 мг/кг, но может достигать 180 мг/кг. Фтор включается в апатит либо в период формирования первичного кристалла, либо путем замещения  $\text{OH}^-$  в преобразованном кристалле. В реакции замещения образуется смешанная форма апатита, брушит ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), также известный как мочевого кристалл. Он представляет собой наиболее стабильную форму фосфата кальция. Его содержание в кости и зубной эмали составляет обычно 0,05 моль/кг и свидетельствует об отношении  $\text{OH}^-/\text{F}^-$  в молекуле апатита, как 40:1. Фтор придает кристаллам фторапатита большую упорядоченность, снижая тем самым их растворимость при физиологическом значении pH.

### Слюна и её влияние на зубную эмаль

Слюна, или ротовая жидкость, является важным фактором в процессе поддержания нормальной флоры во рту. Она смывает микроорганизмы, не давая им прикрепляться к зубам, и содержит антибактериальные ферменты, например, лизоцим (класс гидролаз). Однако, путем ферментации углеводистой пищи она также поставляет для ЗН субстрат в виде моносахаридов, готовых превратиться в молочную кислоту.

При кариесе буферная емкость (способность раствора сохранять постоянную концентрацию определённых ионов) по кислоте колеблется в пределах от 4,7 до 13,5 моль-экв/дм<sup>3</sup>. С возрастом вязкость слюны у людей повышается. У 15-17 летних лиц вязкость меньше, чем в 25-30 лет ( $\eta < 0,05$ ; где  $\eta$  - показатель вязкости, единицы измерения  $\eta$  в СИ — Па • с). У мужчин она на порядок выше.

Важный аспект «фактора слюны» для ЗН — это ее количество. При гипосаливации ( $\leq 0,16$  мл/мин) снижаются буферные свойства слюны за счет уменьшения концентрации  $\text{HCO}_3^-$ ; уменьшается концентрация кальция и фосфатов, что ведет к снижению pH; создаются условия для увеличения количества лактобацилл, скорость деминерализации поверхности зуба выше, чем при нормальной секреции слюны или гиперсаливации.

Одно из ключевых свойств слюны — это ее буферные свойства, т. е. способность нейтрализовать кислоту, образованную микроорганизмами. Классическая работа Stephen (1940) и приведенная в ней «кривая Стефана» (рис. 1) ясно показывает влияние еды и питья во рту в графической форме и имеет решающее значение для понимания кариеса. Автор использует по ординате шкалу pH; критический уровень pH во рту составляет 5,5, так как когда pH падает ниже этой точки, ваши зубы начинают деминерализоваться (или «растворяться» под действием кислот). Практически каждый раз во время приема пищи pH падает ниже критической отметки 5,5 и вашей слюне

требуется 30-40 минут, чтобы вернуть этот показатель в безопасную зону. Чем чаще мы перекусываем, тем дольше подвергаемся риску, и тем дольше восстанавливается баланс рН в ротовой полости, соответствующий норме.



Рисунок 1 - Кривая Стефана

В комплексе профилактических мероприятий важное место занимают, по мнению многих авторов, средства гигиены полости рта, одним из механизмов действия которых является воздействие на зубной налет.

**Механическая чистка зубов.** Гигиенические средства предупреждают образование зубного налета, а также действие различных патогенных факторов. При этом первостепенное значение имеет механическое снятие ранних отложений гигиенической зубной щеткой. На основании многочисленных данных рекомендуется пользоваться зубными щетками с рабочей головкой длиной 25—30 мм при ширине 10—12 мм. В такой щетке щетинки должны иметь высоту не более 10—12 мм и располагаться в 2—3 ряда на расстоянии 2,5—3 мм. Общеизвестно, что чистку зубов необходимо производить после каждого приема пищи.

Также существуют **химические методы борьбы (агенты):**

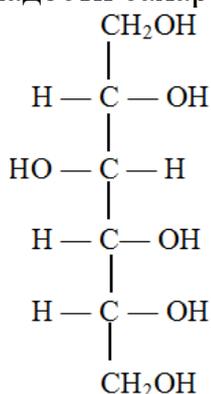
**Агенты против зубного налета первого поколения** способны уменьшить зубной налет до 20-50%. Они плохо удерживаются во рту. К ним относятся: антибиотики, фенолы, четвертичные аммониевые соединения и сангуанарин.

**Агенты против зубного налета второго поколения** обеспечивают общее уменьшение зубного налета примерно на 70-90%, и они сохраняют зубы менее поврежденными, чем агенты первого поколения. Они лучше удерживаются тканями полости рта и обладают свойствами медленного высвобождения. Пример: бисбигуаниды (хлоргексидин).

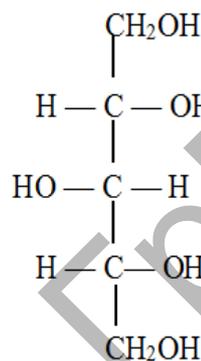
**Агенты против зубного налета третьего поколения** блокируют связывание микроорганизмов с зубом или друг с другом. Но у них плохая удерживающая способность по сравнению с хлоргексидином второго поколения. Пример: дельмопинол.

Современным методом является **лазерное удаление зубного камня**. С помощью специального прибора (например, Waterlase iPlus с технологиями Biolase) зубной камень дробят на мелкие частицы, которые затем вымываются с помощью специального спрея. Технология метода основывается на воздействии лазерного луча на молекулы воды, которые локализируются в зубных отложениях.

Также для профилактики возможна замена сахарозы на сахарозаменители, такие как ксилит (100% от сладости сахарозы) или сорбит (60% от сладости сахарозы).



Сорбитол (шестиатомный спирт)



Ксилитол (пятиатомный спирт)

### Заключение.

Таким образом, процесс возникновения поверхностных образований в ротовой полости сопровождается сложными химическими изменениями, опосредуемыми активностью нежелательной микрофлоры. На формирование зубного налета, зубного камня и кариеса влияют питание, динамика состава слюны, наличие некоторых микро- и макроэлементов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Таганович, А.Д. Биологическая химия в стоматологии: учеб. пособие / А.Д. Таганович, Е.А. Девина. – Минск : Новое знание, 2022. – 540 с.
2. Тюкавкина, Н.А. Биоорганическая химия [Электронный ресурс]: учебник / Н.А. Тюкавкина, Ю.И. Бауков, С.Э. Зурабян. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020.
3. Левицкий, А. П. Зубной налет / А.П. Левицкий, И. К. Мизина. — К.: Здоров'я, 1987.— 80 с.
4. Клинге, Б. Ваше здоровье - у вас во рту: 101 вопрос о зубах, ротовой полости и их влиянии на весь организм” / Б. Клинге, П. Андерссон. – М. : Попурри, 2020.- 221 с.
5. Леус, П. А. Отложения на зубах. Роль зубного налета в физиологии и патологии полости рта : учеб.-метод. пособие / Леус, Петр Андреевич ; Белорус. гос. мед. ун-т, 1-я каф. терапевт. стоматологии. - Минск : БГМУ, 2007. - 32 с.
6. Dental diseases, etiology of dental caries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/tooth-plaque>. –Дата обращения: 20.03.2023.

7. Dental plaque [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://pocketdentistry.com/5-dental-plaque/>. –Дата обращения: 15.03.2023.

8. Ecology of the oral cavity [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://pocketdentistry.com/4-the-ecology-of-the-oral-cavity/>. – Дата доступа: 15.03.2023.

9. Factors affecting plaque formation by bacteriophages [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://www.dairyscience.info/index.php/enumeration-of-lactococcal-bacteriophages/factors-affecting-plaque-formation.html>. – Дата обращения: 20.03.2023.

10. Vinogradova, T. G. Manual of therapeutic stomatology : (for stutents 2 courses of faculty of training of foreign students of dental faculty in English). Pt. 2 : / Т. G. Vinogradova ; Ministry of Health Care of Belarus, Vitebsk State order of Peoples' Friendship Medical University, Dep. of General Dentistry with Prosthetic Dentistry course. - Vitebsk : [VSMU], 2016. - 130 p.

11. Stephan curve [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jamiethedentist.com/dental-caries-decay/stephan-curve/>. – Дата доступа: 17.03.2023.

12. The relationship of plaque and COVID-19 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://encyclopedia.pub/entry/14487>. – Дата обращения : 20.03.2023.