

**ГУ «ЛУГАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СВЯТИТЕЛЯ ЛУКИ»
КАФЕДРА МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ**

**БИОХИМИЯ ЗУБНОГО НАЛЕТА
И ЗУБНОГО КАМНЯ**

АВТОР – АССИСТЕНТ ДЕМЬЯНЕНКО Е.В.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ НА ЗУБАХ



В физиологических условиях на поверхности эмали образуются **кутикула и пелликула**.

Все остальные поверхностные образования на зубах играют определенную роль в развитии стоматологической патологии.

На протяжении всей жизни человека на поверхности эмали могут формироваться **пелликула зуба и зубной налет**.

Минерализация зубного налета приводит к образованию **зубного камня**.

КУТИКУЛА

Покрывает поверхность зубов после их прорезывания. После прорезывания кутикула стирается и частично может сохраняться на апроксимальных поверхностях.

Имеет вид тонкой оболочки, которая состоит из двух слоев:

Кутикула

```
graph TD; A[Кутикула] --> B[Первичная кутикула]; A --> C[Вторичная кутикула];
```

Первичная кутикула

Внутренний тонкий гомогенный слой гликопротеинов, вырабатываемых энамелобластами.

Вторичная кутикула

Образована наружным слоем редуцированного эпителия эмалевого органа

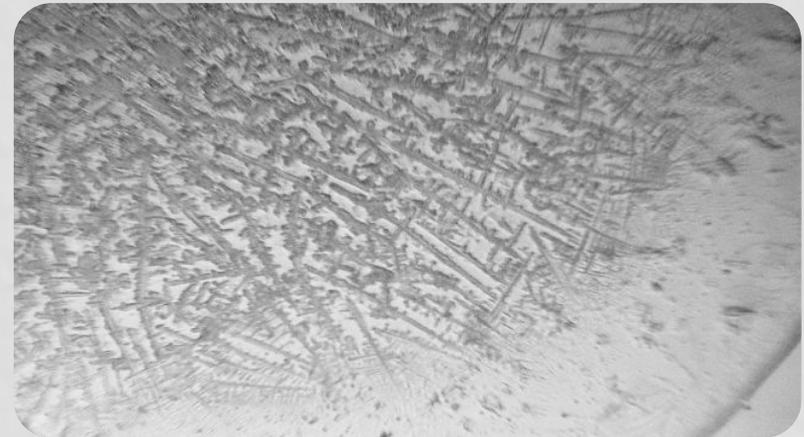
ПРИБРЕТЕННАЯ ПЕЛЛИКУЛА ЗУБА

Пелликула – приобретенная безмикробная тонкая органическая пленка на поверхности зуба, образование которой начинается через 20-30 минут после приема пищи. Она представляет собой барьер, через который регулируются процессы *минерализации и деминерализации эмали*, а также осуществляет контроль за составом микробной флоры, участвующей в образовании зубного налета. Образование пелликулы существенно ускоряется при снижении рН полости рта.



В ОБРАЗОВАНИИ ПЕЛЛИКУЛЫ ЗУБА УЧАСТВУЮТ:

- **Кислые белки, богатые пролином;**
- **Гликозилированные белки, богатые пролином;**
- **Муцины;**
- **Лактофферин;**
- **Гистатины;**
- **Низко- и высоко-молекулярные углеводы.**



Между поверхностью эмали и осаждающимися белками возникают ионные связи и гидрофобные взаимодействия.

ЗУБНОЙ НАЛЕТ

Зубной налет – структура, образованная при прилипании к пелликуле зуба бактерий и продуктов их жизнедеятельности, а также компонентов слюны и неорганических веществ.

Зубной налет возникает путем осаждения микроорганизмов - *стрептококков, стафилококков, лактобактерий и др.* на поверхность пелликулы зуба и растет за счет постоянного наслаивания новых видов бактерий. По некоторым данным в состав зубного налета входят от 400 до 1000 видов микроорганизмов.



БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛЕНКА – ЗУБНОЙ НАЛЕТ ПОД УВЕЛИЧЕНИЕМ



Механизм образования зубного налета (бляшки)

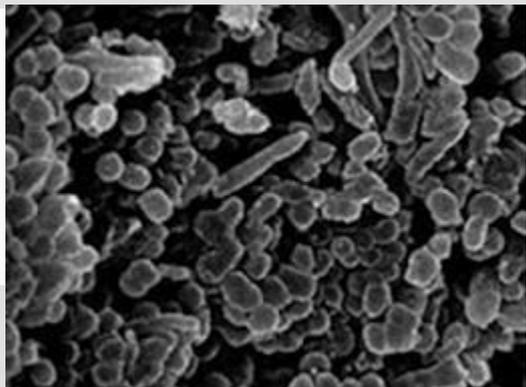
Выделяют три варианта:

- 1. Приклеивание инвазированных бактериями эпителиальных клеток к поверхности зуба с последующим ростом бактериальных колоний.**
- 2. Преципитация гликопротеидов слюны, которые затем агглютинируют бактерии. Для осаждения гликопротеидов слюны необходима их модификация, которая осуществляется при участии микробной нейраминидазы.**
- 3. Преципитация внеклеточных полисахаридов типа декстрана-левана, образованных стрептококками полости рта. Модифицированные гликопротеиды и внеклеточные полисахариды формируют матрикс зубной бляшки.**

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗУБНОГО НАЛЕТА

- ❑ Поверхность зубного налета (ЗН) покрыта слизистым полупроницаемым мукоидным гелем, поэтому ЗН устойчив к смыванию слюной и полосканию рта. Это объясняется тем, что его поверхность.**
- ❑ Мукоидная пленка ЗН препятствует нейтрализующему действию слюны на бактерии в составе налета.**
- ❑ ЗН нерастворим в большинстве реагентов и является своеобразным барьером, предохраняющим эмаль от химических и физических реагентов.**

ФОРМИРОВАНИЕ ЗУБНОГО НАЛЕТА



- **Образование зубного налета начинается спустя один час после приема пищи: на приобретенную пелликулу зуба налипают бактерии.**
- **Примерно через 24 часа образуется незрелый (ранний) зубной налет, а через 72 часа формируется зрелый зубной налет.**
- **Полностью созревание зубного налета завершается на 3 - 7 сутки.**

ФОРМИРОВАНИЕ ЗУБНОГО НАЛЕТА

Формирование зубного налета проходит несколько этапов от раннего зубного налета (первые сутки) до зрелого зубного налета (3-7 дней). Определенную роль в формировании зубного налета играют не только белки слюны и микроорганизмы, но и клетки слущенного эпителия. В составе созревшего зубного налета при микроскопическом исследовании находят следующие слои:

первый
слой

- приобретенная пелликула зуба, которая обеспечивает связь налета с эмалью зуба. Толщина слоя от 1 до 10 мкм

Второй
слой

- представлен волокнистыми микроорганизмами

Третий
слой

- густая сеть волокнистых микроорганизмов с включением колоний других видов бактерий

Четвертый
слой

- поверхностный слой состоящий, преимущественно, из коккообразных микроорганизмов.

Все микроорганизмы зубного налета – это постоянные обитатели ротовой полости и в нормальных условиях безвредны

Флора зубного налета – это энергичная экологическая система, хорошо адаптированная к окружающей среде. Она способна быстро восстанавливаться после чистки зубов, проявляя высокую метаболическую активность, особенно в присутствии простых углеводов. В зависимости от частоты приема пищи и времени ее нахождения в полости рта, а также от воздействия ингибиторов скорость роста бактерий может быть предельно малой и очень высокой. При не соблюдении гигиены полости рта, число бактерий в налете со временем увеличивается.

Бактерии, находящиеся ближе к поверхности зуба, переходят на анаэробное дыхание, продуктами которого являются различные кислоты (***лактат*** и других органический кислот). Слюна, из-за толщины налета, не может нейтрализовать данные кислоты, они накапливаются и со временем становятся причиной патологических изменений: зубного кариеса и воспаления десны.

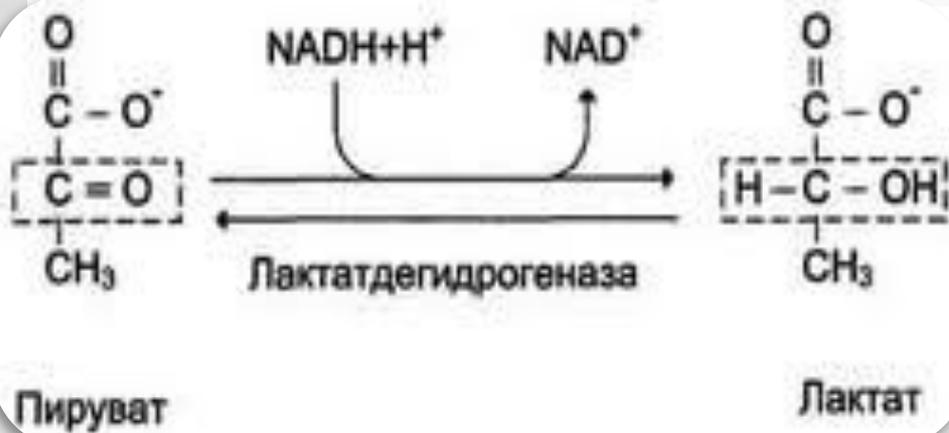
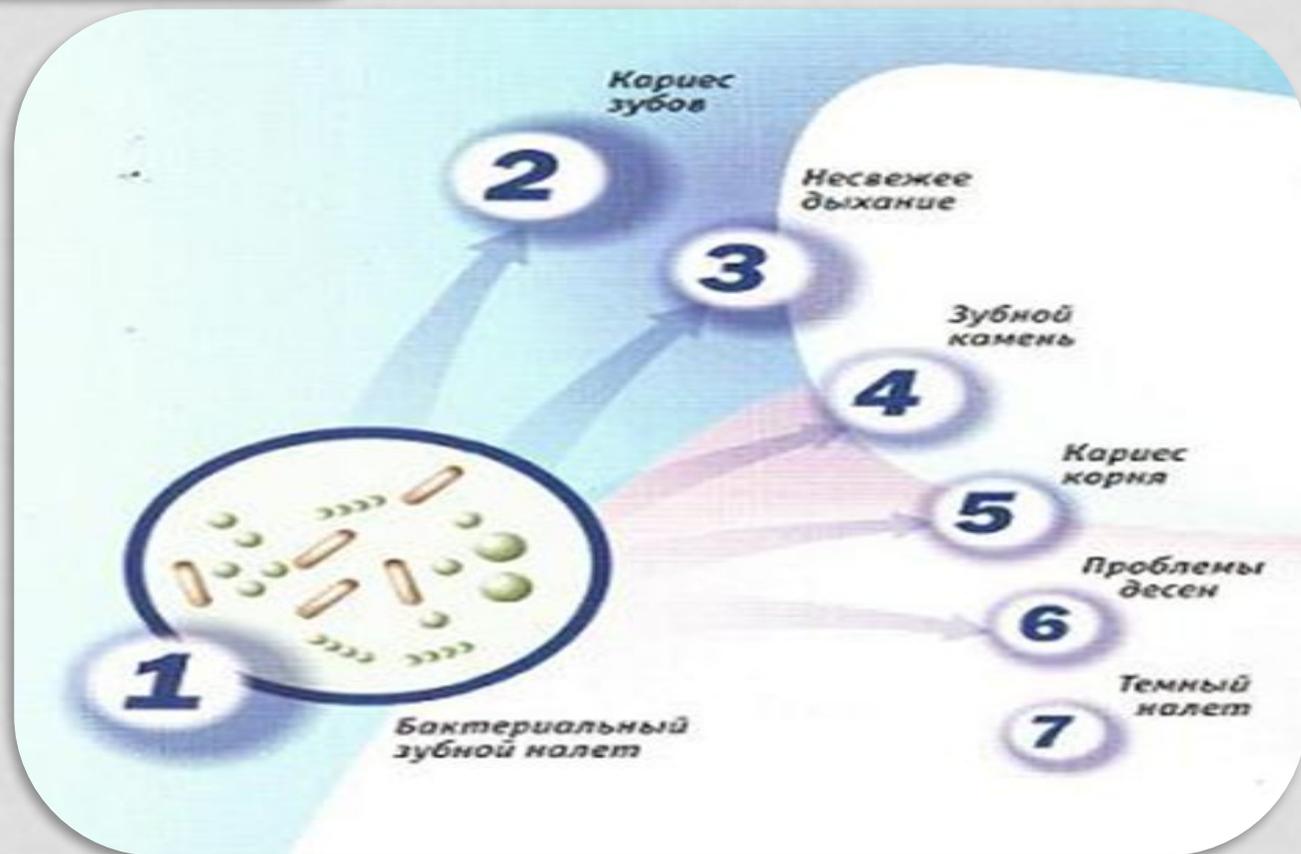


Схема образования молочной кислоты при анаэробном гликолизе

На рисунке показана взаимосвязь возникновения различных проблем ротовой полости, связанных с зубным налетом



МИКРОФЛОРА ЗУБНОГО НАЛЕТА

В 1 мг вещества ЗН находится $500 \cdot 10^6$ микробных клеток. У разных субъектов количество микроорганизмов неодинаково. Более 70% колоний образуют стрептококки, 15% – вейлонеллы и нейссерии, остальная флора – дифтероиды, лактобактерии, стафилококки, лептотрихии, фузобактерии, актиномицеты и дрожжеподобные грибы.

На флору ЗН оказывает угнетающее влияние фтор, содержащийся в питьевой воде, к которому особенно чувствительны различные типы стрептококков и бактерии, синтезирующие йодофильные полисахариды. Для подавления роста бактерий необходимо около 30-40 мг/л фтора в питьевой воде.

СОСТАВ ЗУБНОГО НАЛЁТА

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

**На 1 мг сухой массы
зубного налета
приходится**

- **3,37 мкг кальция**
- **8,37 мкг фосфора**
- **4,20 мкг калия**
- **1,30 мкг натрия**

Кальций и фосфор зубного налета в основном происходят из слюны, хотя не исключены и другие источники. В пробах трехдневного ЗН у молодых лиц содержание фосфора, натрия и калия выше, чем в слюне.

Количество неорганических солей в ЗН со временем увеличивается.

Около 40% сухой массы неорганических веществ находится в зубном налете в виде гидроксиапатита.

Содержание фосфатов в ЗН уменьшается на треть при пребывании сахара в полости рта в течение 15 минут.

Существенное влияние оказывает и рН среды. Так, при рН 7,0-7,4 ускоряется усвоение фосфата, а оптимальная скорость накопления этого компонента отмечается при рН 6,8-7,0. Голодная бляшка имеет рН от 7 до 8. Термин «зубная бляшка в состоянии покоя» применяется для определения значения рН бляшки через 2-2,5 ч после последнего приема углеводов. Термином «голодная» называют бляшку, которая не подвергалась экспозиции углеводами в течение 8-12 ч.

СОСТАВ ЗУБНОГО НАЛЁТА

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

Неорганические вещества ЗН имеют непосредственное отношение к минерализации и образованию *зубного камня*.

Содержание микроэлементов в ЗН чрезвычайно вариабельно. Определенные биотики – фтор, молибден, ванадий, стронций – обуславливают меньшую восприимчивость зубов к кариесу, воздействуя на экологию, состав и обмен зубного налета; селен, наоборот, увеличивает возможность возникновения кариеса.

Одним из наиболее важных, компонентов, активно влияющих на биохимию ЗН, является фтор. Содержание его может быть в десятки раз больше, чем в слюне. Средняя концентрация фтора в зубном налете составляет 6 мг/кг, но может достигать 180 мг/кг, что в значительной степени зависит от уровня этого микроэлемента в питьевой воде

70-80% от общей массы зубного налета приходится на воду

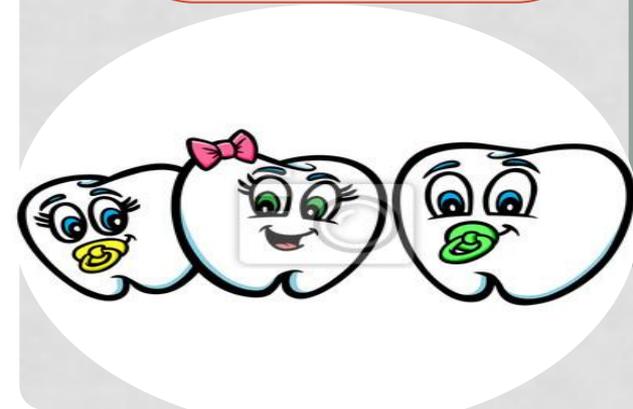
СОСТАВ ЗУБНОГО НАЛЁТА

ОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

- 8-20% - белки;
- 7-14% - углеводы,
- небольшое количество липидов.

Кислые продукты метаболизма в зубной бляшке содержатся в более высокой концентрации, чем в слюне, этому способствует повышенная вязкость нестимулированной слюны.

Зубная бляшка в состоянии покоя содержит относительно высокий уровень ацетата (уксусной кислоты) по сравнению с лактатом.



ФЕРМЕНТЫ, ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ ЗУБНОГО НАЛЕТА

Эти ферменты оказывают воспалительное и токсическое действие на клетки эпителия периодонта

- **Гиалуронидаза** (гидролизует гликозамингликаны межклеточного матрикса);
- **Коллагеназа** (гидролизует коллаген десны);
- **Эластаза** (гидролизует эластин сосудистой стенки);
- **Бактериальная нейраминидаза**, изменяет строение олигосахаридов мембран клеток периодонта.

БЕЛКИ ПРИОБРЕТЕННОЙ ПЕЛЛИКУЛЫ ЗУБА (ППЗ) НАДЕЛЕНЫ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

- Используя различные механизмы белки ППЗ губят микроорганизмы или препятствуют их прилипанию. Например: секреторный (из слюны) иммуноглобулин А (IgAs) предотвращает прилипание бактерий к поверхности эмали зубов.

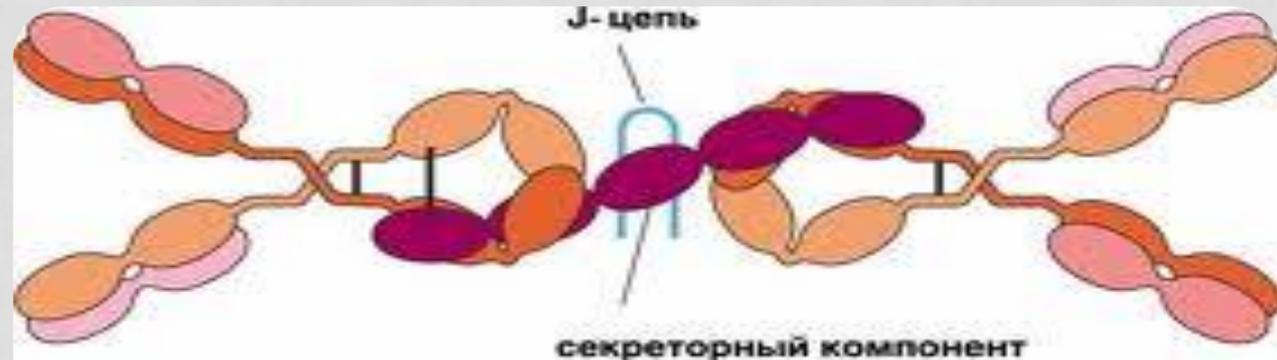
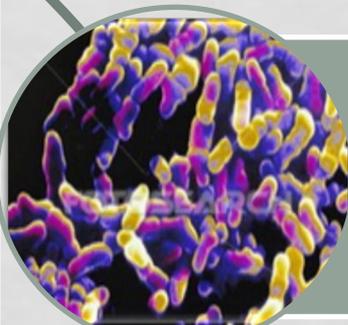


Рис. 5. Структура молекулы sIgA.

На рисунке продемонстрировано, что димерная молекула sIgA состоит из двух мономеров, гомологичных по структуре молекуле IgG и соединенных между собой J-цепью. Особенностью молекулы sIgA является наличие секреторного компонента (обозначен сиреневым цветом), защищающего от ферментативного расщепления

ПРОЦЕССУ СОЗРЕВАНИЯ ЗУБНОГО НАЛЕТА, СОПУТСТВУЕТ, КАК СМЕНА МИКРОФЛОРЫ, ТАК И РЯД БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ:



Аэробные микроорганизмы в процессе уплотнения зубного налета гибнут и на смену им приходят анаэробные микроорганизмы.



Результатом анаэробных процессов является закисление рН, в основном, за счет образования лактата, а также накопление продуктов гниения аминокислот: сероводорода, аммиака, альдегидов, кетонов, фенола, крезола, скатола и других, которые обладают неприятным запахом.

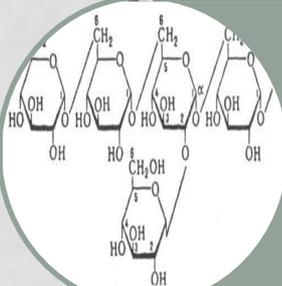


Растет активность гидролитических ферментов: гликозидаз, которые расщепляют углеводы и протеиназ, гидролизующих пептидные связи в белках. Гликозидазы отщепляют углеводные части от гликопротеинов, что приводит к резкому снижению растворимости белков и их выпадению в осадок. Полный гидролиз белков приводит к высвобождению свободных аминокислот.

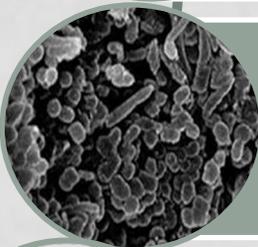
ПРОЦЕССУ СОЗРЕВАНИЯ ЗУБНОГО НАЛЕТА, СОПУТСТВУЕТ, КАК СМЕНА МИКРОФЛОРЫ, ТАК И РЯД БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ:



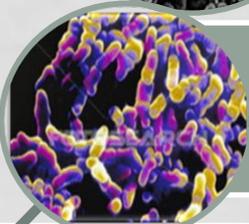
Образованные под действием протеиназ аминокислоты, за счет своих отрицательных зарядов активно связывают ионы кальция и другие ионы. Кроме того, они являются дополнительным субстратом для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов и синтеза ими внеклеточных полисахаридов.



Углеводы, полученные под действием ферментов гликозидаз, а также остатки углеводов пищи используются микроорганизмами для синтеза липких полисахаридов - гликанов: декстрана (из глюкозы) и левана (из фруктозы и сахарозы). Эти полисахариды обеспечивают склеивание или объединение микроорганизмов зубного налета и служат внеклеточным депо углеводов для микроорганизмов.

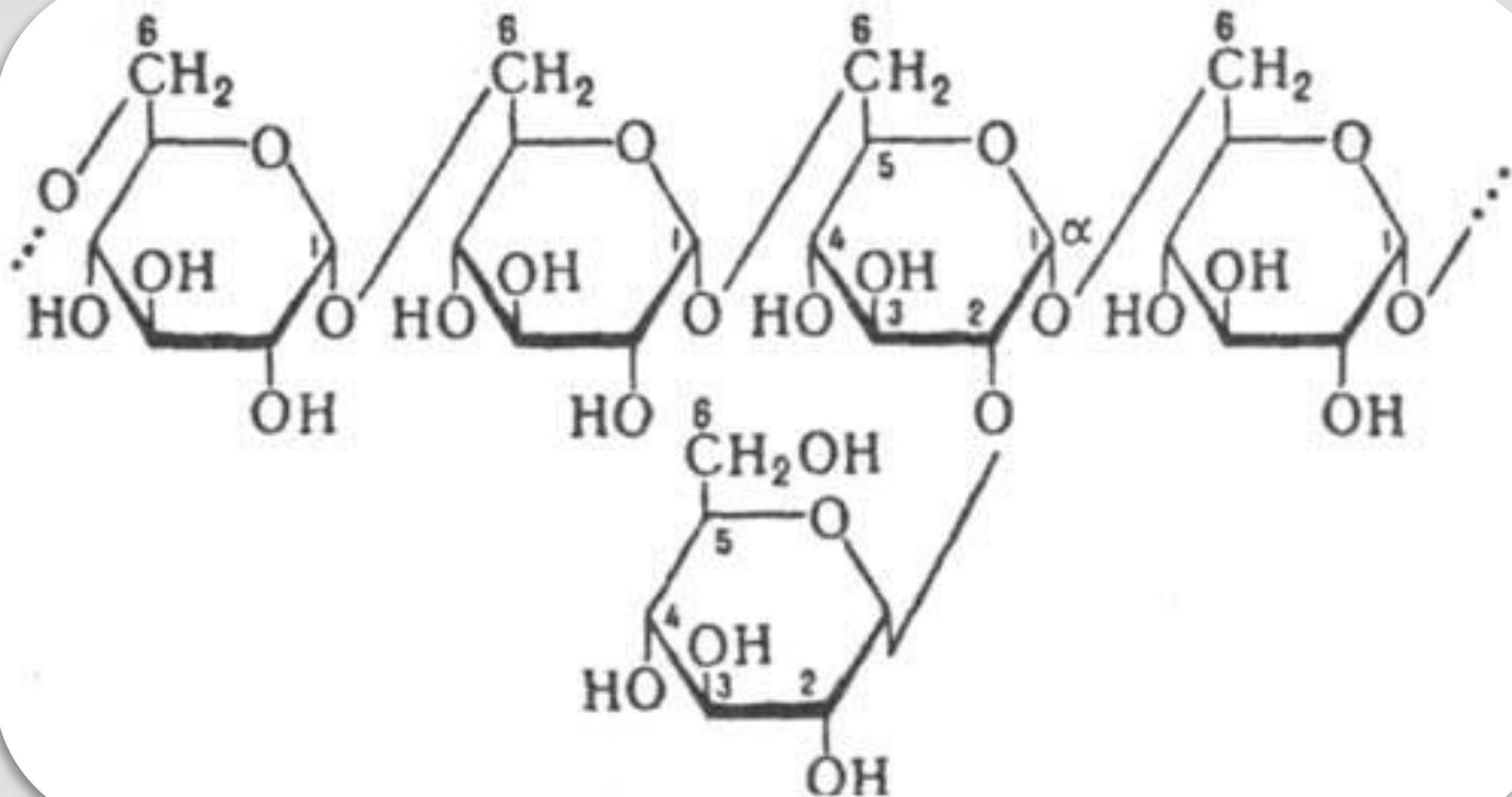


Катаболизм аминокислот приводит к подщелачиванию зубного налета за счет процессов, сопровождающихся образованием аммиака, таких как: дезаминирование аминокислот, гидролиз уреазой мочевины, восстановление нитрат- и нитрит-ионов до аммиака под действием редуктаз бактерий.

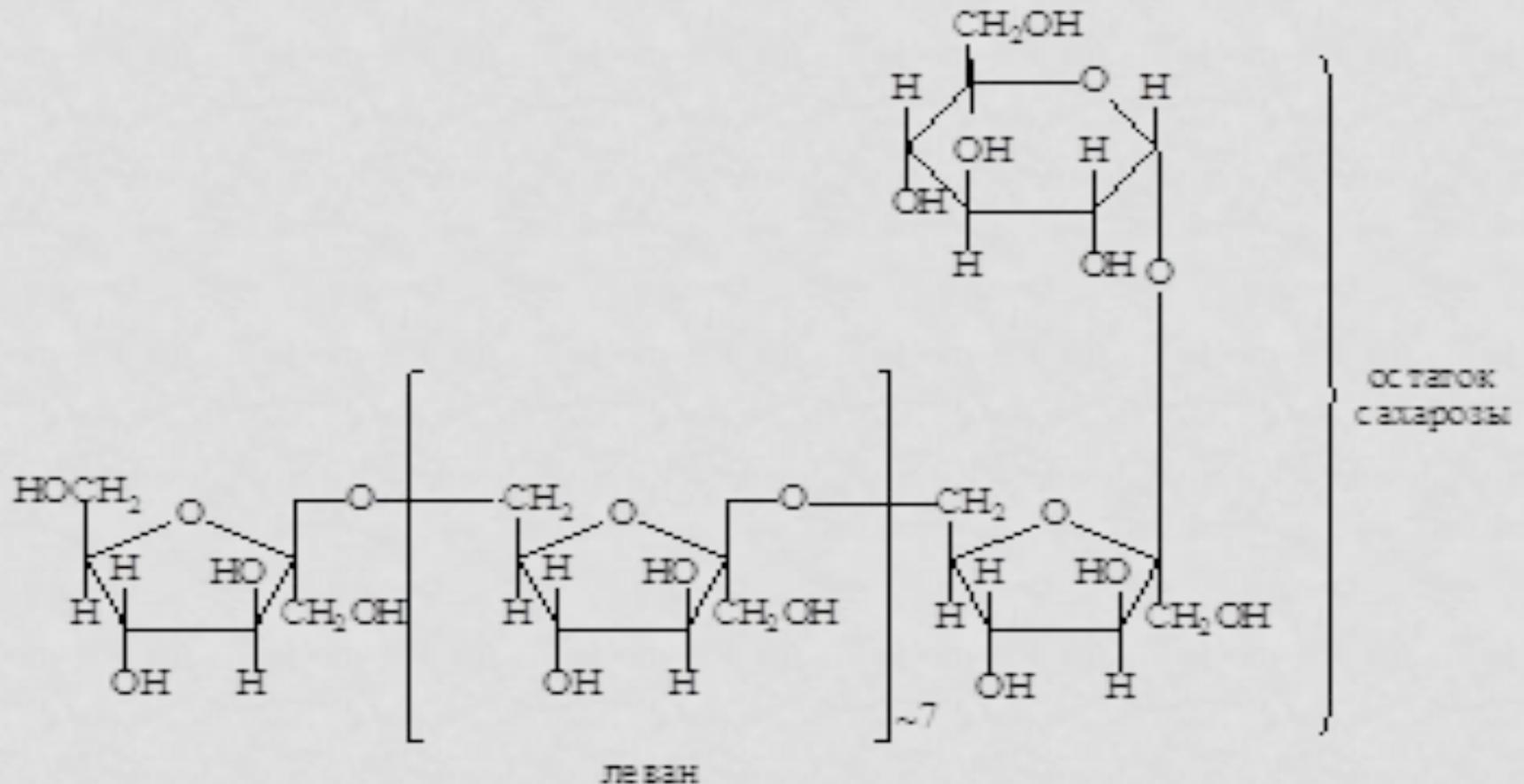


В результате подщелачивания создаются оптимальные условия для функционирования щелочной фосфатазы, которая высвобождает фосфат из органических соединений, что приводит к повышению его концентрации.

СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА ДЕКСТРАНА, РАЗВЕТВЛЕННОГО ПОЛИСАХАРИДА, ОБРАЗОВАННОГО ИЗ ОСТАТКОВ ГЛЮКОЗЫ

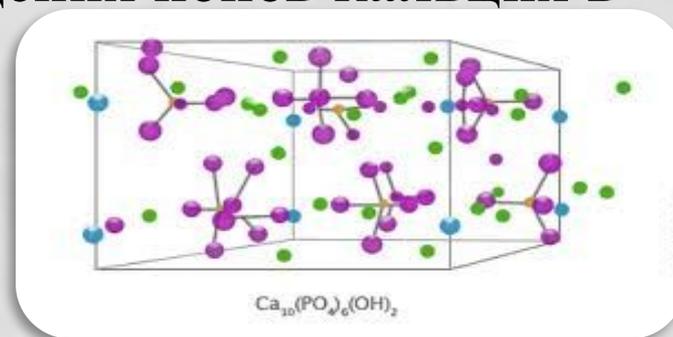


ПОЛИСАХАРИД ЛЕВАН СОСТОИТ ИЗ ОСТАТКОВ ФРУКТОЗЫ И ОСТАТКА САХАРОЗЫ, БЫСТРО ГИДРОЛИЗУЮТСЯ ЛЕВАНАЗОЙ



В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОТЕКАНИЯ ПЕРЕЧИСЛЕННЫХ ВЫШЕ ПРОЦЕССОВ, В ЗУБНОМ НАЛЕТЕ МОГУТ РЕАЛИЗОВАТЬСЯ ДВЕ ДИАМЕТРАЛЬНО ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ СИТУАЦИИ:

1. Формируется кислая среда (ее образованию способствует пища, богатая углеводами), в которой происходит деминерализация эмали и развитие кариеса. В кислой среде увеличивается возможность замещения ионов кальция в гидроксиапатитах эмали на ионы водорода, растет растворимость кристаллов гидроксиапатитов, а также повышается активность кислой фосфатазы – фермента, способствующего деминерализации (усиливающая растворение структур тканей зуба).



2. Формируется щелочная среда и аккумулируются высокие концентрации кальция и фосфатов, то есть создаются условия для выпадения в осадок солей кальция и образования зубного камня.

ЗУБНОЙ КАМЕНЬ – ПАТОЛОГИЧЕСКОЕ НЕРАСТВОРИМОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБА

Отложение в зубном налете неорганических веществ, т.е. его минерализация, приводит к образованию зубного камня.

Минеральные слои откладываются на коллоидной основе зубного налета, меняя соотношение между мукопротеидами, микроорганизмами, слюнными тельцами, слущенным эпителием и остатками пищи, что в конечном итоге приводит к его частичной или полной минерализации.

Зубной камень в основном образуется путем импрегнации зубного налета кристаллами фосфата кальция.

Для отверждения мягкой матрицы необходимо около 12 дней. Начало минерализации становится очевидным уже через 1-3 дня после образования налета.

В зависимости от расположения на поверхности зуба различают над- и поддесневой зубной камень. По своему составу они сходны.



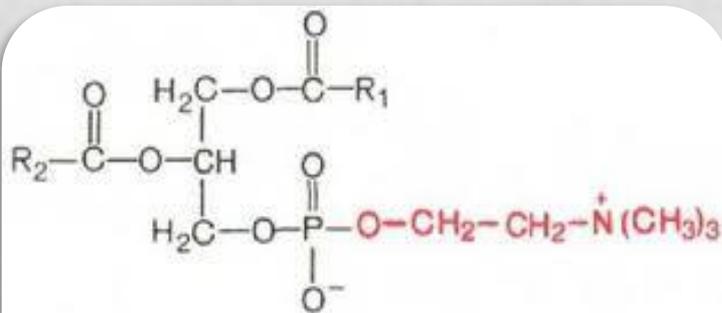
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗУБНОГО КАМНЯ



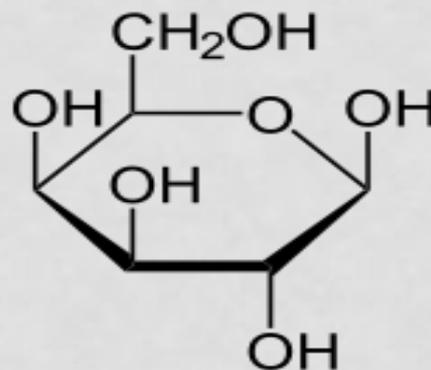
- Большая часть зубного камня представлена
- кальцием (29-57%),
 - неорганическим фосфатом (16-29%)
 - магнием (0,5%).

Источником кальция, фосфатов и других ионов является слюна.

- белки и аминокислоты (глутамат, аспартат и др.);
- углеводы (фруктоза, галактоза, гликозамингликаны);
- липиды (в основном глицерофосфолипиды, образуются при распаде клеточных мембран микроорганизмов).



Фосфатидилхолин (лецитин)



ФОРМИРОВАНИЕ ЗУБНОГО КАМНЯ

- **Активная жизнедеятельность бактерий** зубного налета приводит к образованию органических кислот (лактата, ацетата, бутирата и др.), диссоциация которых ведет к повышению концентрации протонов.
- **Протоны** нарушают строение мицелл фосфатов кальция (протонируют фосфатные группы), **ионы кальция** вымываются из мицеллы и включаются в процессы минерализации зубного налета.
- С другой стороны анаэробные бактерии зубного налета секретируют конечные продукты обмена белков – азот, аммиак и мочевину.
- Продукт обмена белков – аммиак, взаимодействует с фосфатными группами, образуя гидрофосфат – анионы $(\text{HPO}_4)^{-2}$, которые связывают кальций.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗУБНОГО КАМНЯ

- В результате этого взаимодействия получается плохо растворимая соль – **брушит**, дающая начало формированию зубного камня.

**МИНЕРАЛ БРУШИТ ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
СОСТАВЛЯЕТ 50% ВСЕХ ВИДОВ АПАТИТОВ
ЗУБНОГО КАМНЯ**

Помимо брушита образуются и другие виды кристаллов – витлоктит, монетит, **октакальций фосфат** $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, при щелочных рН кристаллы превращаются в гидроксиапатит.

В зубном камне присутствуют также карбонатапатит, фторапатит, соли магния (струвит,) и другие апатиты.

УСЛОВИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗУБНОГО НАЛЕТА И ОБРАЗОВАНИЯ ЗУБНОГО КАМНЯ:

- **Участие кислотообразующих микроорганизмов;**
- **Повышение в слюне ионов кальция и фосфатов, вызванное снижением устойчивости мицеллы слюны;**
- **Размножение микроорганизмов, продуцирующих аммиак и мочевины;**
- **Повышение содержания в зубном налете метаболитов, погибших бактерий, способных удерживать кальций и фосфаты;**
- **Участие щелочной фосфатазы, которая повышает содержание гидрофосфат – ионов в налете.**

ЗУБНОЙ НАЛЕТ И ЗУБНОЙ КАМЕНЬ МОГУТ СТИМУЛИРОВАТЬ РАЗВИТИЕ ЗУБНОЙ ПАТОЛОГИИ

- *Зубной налет* вырабатывает токсины (аммиак, лактат, индол и др.), которые могут вызывать воспаление десны – *гингивит*.
- Зубной камень, разрушая зубодесневое соединение, способствует распространению инфекции в глубь тканей пародонта, а именно возникновению такой патологии как:
 - *Пародонтит* – воспаление тканей пародонта, сопровождающиеся деструкцией десны, периодонта и зуба.
 - *Пародонтоз* – дистрофическое поражение всех элементов пародонта.

КАРИЕСОГЕННОСТЬ ЗУБНОГО НАЛЕТА

Зубной налет способствует кариесу. Чем быстрее образуется налет, тем выше кариесогенность, что также зависит от активности микроорганизмов. *Str. mutans* вырабатывает большие количества молочной кислоты. По мере накопления ЗН влияние слюны на эмаль ослабевает, а воздействие метаболитов зубного налета усиливается. В результате чего накопившийся лактат растворяет межпризматическое вещество эмали с образованием микрополостей, которые заполняются микроорганизмами, слюнными и бактериальными белками. Кариесогенность ЗН возрастает при употреблении с пищей большого количества углеводов и уменьшении уровней кальция и фосфатов в слюне.

БОРЬБА С ЗУБНЫМ НАЛЕТОМ

Одними из важных мер борьбы с зубным налетом нужно отметить:

- чистку зубов 2 раза в сутки качественной зубной пастой**
- полоскание полости рта после еды**
- жевательная резинка (непродолжительное время) после приема пищи**
- рациональное питание**

Необходимо отметить, что зубной налет снимается зубной щеткой только по истечении трех минут чистки. Зубная щетка подбирается врачом-стоматологом в зависимости от состояния полости рта (гингивит, стоматит, пародонтит, патологическая стираемость эмали и др.), а также от возраста пациента.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

