

# Буферные системы



# БУФЕРНЫЕ РАСТВОРЫ

- Организм человека располагает тонкими механизмами координации происходящих в нём процессов и поддержания постоянства внутренней среды.
- Эта координация называется гомеостазом. Она осуществляется с помощью **гуморальной регуляции**, т.е через кровь, тканевую жидкость, лимфу с помощью биологически активных веществ( ферментов, гормонов и других веществ).



- Сохранение постоянства рН жидких сред организма имеет очень важное значение для жизнедеятельности человеческого организма, т.к.
- **ионы  $H^+$  катализируют многие биохимические превращения( расщепление белков в ЖКТ),**
- **кроме того, многие ферменты и гормоны проявляют свою биологическую активность только в строго определённом интервале рН и**
- **даже незначительные сдвиги рН могут оказать существенное влияние на величину осмотического давления биологических жидкостей.**



## БУФЕРНЫЕ РАСТВОРЫ

- Поддержанию на постоянном уровне концентрации ионов водорода способствуют **буферные растворы** – растворы, рН которых не меняется при добавлении к ним небольших количеств сильных кислот, щелочей, а также при разведении.
- Простейший буферный раствор- это смесь слабой кислоты и соли, имеющей с этой кислотой общий анион, либо
- смесь слабого основания и соли с общим катионом.



# КЛАССИФИКАЦИЯ БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ

1 тип буферных растворов:

- **Ацетатный** -  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$
- **Фосфатный** -  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
- **Бикарбонатный** -  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaHCO}_3$
- **Белковый** –  $\text{PtCOOH}$  и  $\text{PtCOONa}$
- **Гемоглобиновый** –  $\text{Hb}$  и  $\text{KHb}$
- **Оксигемоглобиновый** -  $\text{HbO}_2$  и  $\text{KHbO}_2$ .



# КЛАССИФИКАЦИЯ БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ

2 тип буферных растворов:

**Аммиачный** –  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

По более современной классификации БР делят на следующие группы :

1. **БР, состоящие из слабой кислоты и её аниона** –  $\text{HA/A}^-$  ( $\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-$ )
2. **БР, состоящие из слабого основания и его катиона** –  $\text{B/BH}^+$  ( $\text{NH}_4\text{OH} / \text{NH}_4^+$ )



# КЛАССИФИКАЦИЯ БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ

3. **БР, состоящие из аниона кислой и средней соли, или из анионов двух кислых солей**, например, фосфатная буферная система –  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$
4. **БР, состоящие из ионов и молекул амфолитов**. К ним относятся белковые БС, гемоглобиновая и оксигемоглобиновая БС.



# РН БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ

- Так как любой БР содержит слабый электролит, к процессу его диссоциации можно применить закон действующих масс, например, для ацетатного БР:



$$K(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$[\text{H}^+] = K \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$



# РН БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ

- Так как концентрация ионов  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  велика из-за диссоциации соли, процесс диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  по принципу Ле - Шателье сдвинут **влево**, поэтому концентрация недиссоциированных молекул  $\text{CH}_3\text{COOH}$  практически равна общей концентрации кислоты в БР,
- **а концентрация ионов  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  равна концентрации соли в БР, поэтому:**



$$\square \left[ \text{H}^+ \right] = \frac{\text{K Кислота}}{\text{соль}}$$

После логарифмирования:

$$\square \text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{\text{соль}}{\text{кислота}}$$

( Для буферных систем 1 типа )

Для буферных систем 2 типа:

$$\square \text{pH} = 14 - \text{pK} - \lg \frac{\text{соль}}{\text{основание}}$$

□ Данные уравнения называются уравнениями **Гендерсона - Гассельбаха**



# МЕХАНИЗМ БУФЕРНОГО ДЕЙСТВИЯ

- Если к буферному раствору добавить **сильную кислоту**, то ионы водорода будут соединяться с анионами с образованием слабого электролита и реакция среды при этом не меняется:



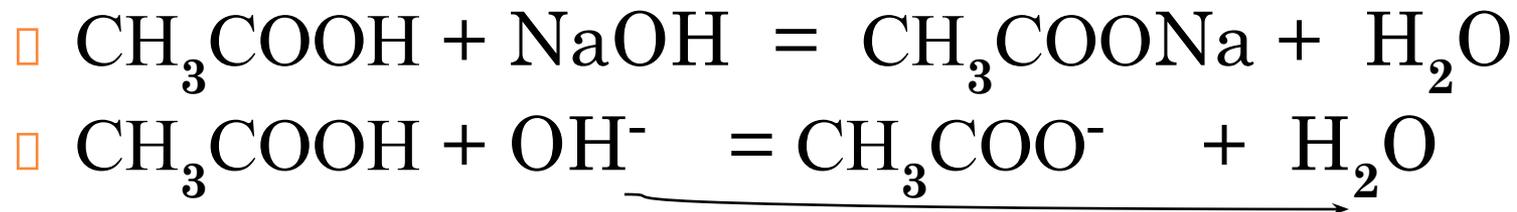
# МЕХАНИЗМ БУФЕРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Если к буферному раствору прибавить сильное основание, то ионы  $\text{OH}^-$  будут взаимодействовать с ионами  $\text{H}^+$ , которые содержатся в небольшом количестве, вследствие небольшой диссоциации кислоты. В результате образуется  $\text{H}_2\text{O}$ .

Кроме этого, увеличение концентрации ионов  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  приводит к смещению равновесия процесса диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  влево, поэтому **pH не изменяется:**



# МЕХАНИЗМ БУФЕРНОГО ДЕЙСТВИЯ



Уравнение Гендерсона- Гассельбаха показывает, **что рН буферного раствора** данного состава **определяется соотношением кислоты и соли и не зависит от разбавления**, т.к. при изменении объёма раствора концентрация каждого компонента изменяется в одинаковое число раз, **а их соотношение остаётся постоянным.**



# БУФЕРНАЯ ЁМКОСТЬ

- Способность буферного раствора сохранять рН при добавлении сильных кислот или щелочей не беспредельна и ограничена величиной, называемой **буферной ёмкостью**.
- За единицу буферной ёмкости принята ёмкость такого БР, для изменения рН которого на единицу требуется введение сильной кислоты или щёлочи в количестве 1 моль эквивалента на 1 литр буферного раствора.



# БУФЕРНАЯ ЁМКОСТЬ

- Буферная ёмкость рассчитывается по кислоте и щёлочи ( моль/л):

$$n(\text{к.})$$

- $B(\text{к.}) = \frac{n(\text{к.})}{(\text{pH}_0 - \text{pH}_1) V_{(\text{б.р.})}}$

$$n(\text{к}) = C(\text{к}) V(\text{к})$$

$$n(\text{щ})$$

- $B(\text{щ.}) = \frac{n(\text{щ})}{(\text{pH}_1 - \text{pH}_0) V_{(\text{б.р.})}}$



# БУФЕРНАЯ ЁМКОСТЬ

- **Буферная ёмкость зависит от:**
- **природы и общих концентраций компонентов буферного раствора, а также от соотношения их концентраций:**
- **чем больше концентрация компонентов и**
- **чем ближе отношение кислота/ соль к 1, тем больше буферная ёмкость.**



## БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КРОВИ

- Для каждой биологической жидкости характерно определённое значение рН и сохранение этого значения имеет очень важную роль для нормальной жизнедеятельности организма.
- **Значение рН крови в норме 7,36,** которое поддерживается за счёт буферных систем, содержащихся в крови.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

## □ Водородкарбонатная

(гидрокарбонатная)- состоит из слабой  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и сопряжённого основания  $\text{HCO}_3^-$ .

□ Углекислота образуется при взаимодействии растворённого в плазме  $\text{CO}_2$  с водой:



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- Величина рН крови зависит от концентрации свободной растворённой в крови  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и кислоты, связанной в ион  $\text{HCO}_3^-$  :

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{\text{NaHCO}_3}{\text{H}_2\text{CO}_3}$$

- При нормальном значении рН крови=7,36, соотношение
- $\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3 = 20 : 1$



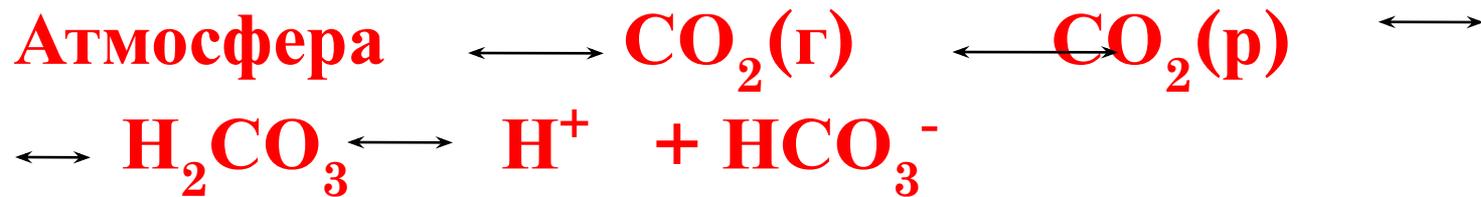
# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- При поступлении в кровь кислот (например, молочной кислоты) гидрокарбонат их нейтрализует, а **избыток  $\text{CO}_2$  выводится через лёгкие**, вызывая увеличение лёгочной вентиляции.
- Таким образом, соотношение  $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ , а следовательно, и pH крови **не меняется.**



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- Происходящие при этом процессы можно выразить следующей схемой:



Вследствие того, что концентрация  $\text{HCO}_3^-$  в крови значительно превышает концентрацию углекислоты, буферная ёмкость этой системы **выше по кислоте** и составляет соответственно **40 ммоль/л** и **1-2 ммоль/л**.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- У гидрокарбонатной буферной системы наибольшая взаимосвязь со всеми буферными системами и вне-, и внутриклеточных жидкостей.
- Нарушение в любой буферной системе сказывается на концентрациях составляющих гидрокарбонатной БС, поэтому изменение её параметров может достаточно точно характеризовать состояние дыхательных или метаболических нарушений, т.е. **КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ**.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- **Фосфатная буферная система** состоит из слабой кислоты  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и сопряжённого основания  $\text{HPO}_4^{2-}$ . В основе её действия лежит равновесие:



- Фосфатная буферная система способна сопротивляться изменению рН в интервале **6,2 – 8,2**, т.е. обеспечивает значительную долю буферной ёмкости крови.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- Отношение  $\text{HPO}_4^{2-} / \text{H}_2\text{PO}_4^-$  в плазме крови равно **4:1**, поэтому данная буферная система имеет более высокую ёмкость по кислоте, чем по щёлочи ( **Вк = 1-2 ммоль/л;**  
**Вщ = 0,5 ммоль л)**

В связи с малым содержанием фосфатов в плазме крови **она менее мощная**, чем гидрокарбонатная, однако, эта система играет решающую роль в других биологических средах - в клетке, моче и соках пищеварительных желёз.



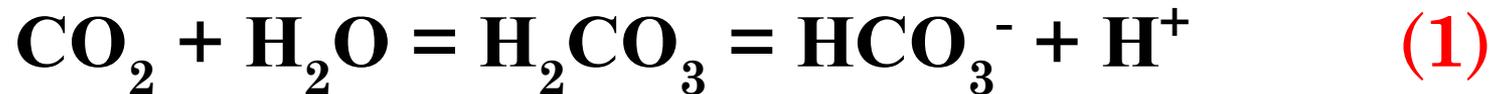
# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- ▣ **Белковые буферные системы-** состоят из остатков аминокислот, которые содержат **-NH<sub>2</sub>** группы, имеющие слабый **основный** характер, и **-COOH** группы, со слабыми **кислотными** свойствами, поэтому белки способны противодействовать как подкислению, так и подщелачиванию среды.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- Белковая и гидрокарбонатная буферные системы работают совместно:



- Равновесия **1** и **2** тесно связаны между собой: при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  происходит смещение равновесия **1** вправо, а реакции **2** - влево, а это значит, что при увеличении концентрации  $\text{HCO}_3^-$  происходит уменьшение концентрации  $\text{PtCOO}^-$ .

Сумма их концентраций остаётся неизменной.



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЫ КРОВИ

- При увеличении количества ионов  $H^+$  (при избыточном образовании молочной кислоты при гипоксии или  $\beta$  гидроксимасляной кислоты при диабетическом кетозе) обе эти реакции сдвигаются **влево**, образуя  $PtCOOH$  и  $CO_2$ , избыток которого выводится через лёгкие.



- **Буферная ёмкость, определяемая белками плазмы, зависит от:**
- **концентрации белков в плазме,**
- **их вторичной и третичной структуры,**
- **а также числа свободных протон-акцепторных групп.**
- **Эта система способна нейтрализовать как кислые, так и основные продукты, однако, вследствие преобладания формы белок-основание, её буферная ёмкость значительно выше по кислоте и составляет для альбуминов 10 ммоль/л, а для глобулинов 3 ммоль/л**



# БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЭРИТРОЦИТОВ

- ▣ *Гемоглибиновая/оксигемоглибиновая* БС, на долю которой приходится **75%** буферной ёмкости крови.
- ▣ Гемоглибиновый буфер является разновидностью белковой БС и состоит **из 2х форм гемоглибина:**
  - восстановленного (  $\text{Hb}$  )**
  - окисленного (  $\text{HbO}_2$  )**



**В эритроцитах система гемоглобин/оксигемоглобин играет важную роль в процессах дыхания (транспортная функция по переносу  $O_2$  к тканям и органам и удаление из них метаболитического  $CO_2$ ), а также в поддержании постоянства рН внутри эритроцитов, а в результате и в крови в целом).**

**В основе действия системы гемоглобин/оксигемоглобин лежит следующее уравнение:**



- **ННЬ является более слабой кислотой, чем ННЬО<sub>2</sub> :**

$$K(\text{ннб}) = 6,3 \times 10^{-9},$$

$$K(\text{ннбо}_2) = 1,12 \times 10^{-7},$$

- **поэтому ион НЬ<sup>-</sup> способен активнее связывать протон Н<sup>+</sup>, чем ион НЬО<sub>2</sub><sup>-</sup>.**

- **В организме гемоглобиновые БС взаимодействуют с гидрокарбонатной БС.**



## СОВМЕШТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ И ГИДРОКАРБОНАТНОЙ БС.

- В капиллярах большого круга кровообращения оксигемоглобин диссоциирует и отдаёт  $O_2$  тканям:



- Вследствие образования восстановленного гемоглобина, являющегося более слабой кислотой, снижается степень диссоциации кислотных групп гемоглобина **и уменьшается отдача ионов  $H^+$  в среду, но активная реакция среды (pH) не меняется, т.к. из тканей в кровь поступает  $CO_2$**



## СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ И ГИДРОКАРБОНАТНОЙ БС.

- Под действием угольной ангидразы  $\text{CO}_2$  превращается в  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , при этом происходит одновременный процесс её диссоциации:



- Образующиеся в ходе этой реакции ионы  $\text{H}^+$  связываются  $\rightleftharpoons$  в эритроцитах с восстановленным гемоглобином, который освобождает часть связанных ионов  $\text{K}^+$  :



# СОВМЕЩНОЕ ДЕЙСТВЛЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ И ГИДРОКАРБОНАТНОЙ БС

- Часть ионов  $\text{HCO}_3^-$  образуют с ионами  $\text{K}^+$  соединение  $\text{KHCO}_3$ , другая часть ионов  $\text{HCO}_3^-$  переходит в плазму, где образуется  $\text{NaHCO}_3$ .
- Из плазмы в обмен на ионы  $\text{HCO}_3^-$  в эритроциты переходят ионы  $\text{Cl}^-$ , которые с ионами  $\text{K}^+$  образуют  $\text{KCl}$ .



# СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ И ГИДРОКАРБОНАТНОЙ БС

В капиллярах большого круга кровообращения:

Ткань

Ткань



$\text{CO}_2$

$\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^- = \text{NaHCO}_3$

$\text{Cl}^-$



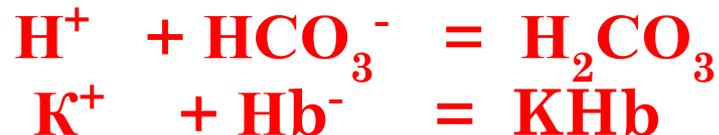
# СОВМЕСТИНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ И ГИДРОКАРБОНАТНОЙ БС

## □ В лёгочных капиллярах

через тончайшую лёгочную мембрану по градиенту парциального давления  $O_2$  переходит в плазму и эритроциты, при этом происходит оксигенация гемоглобина:



Ионы  $H^+$  связываются с гидрокарбонат-ионами, а ионы  $K^+$  с гемоглобином:



Угльная кислота под действием карбоангидразы разлагается на  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Образовавшийся  $\text{CO}_2$  переходит из эритроцитов в плазму, диффундирует в лёгкие и удаляется с выдыхаемым воздухом.**

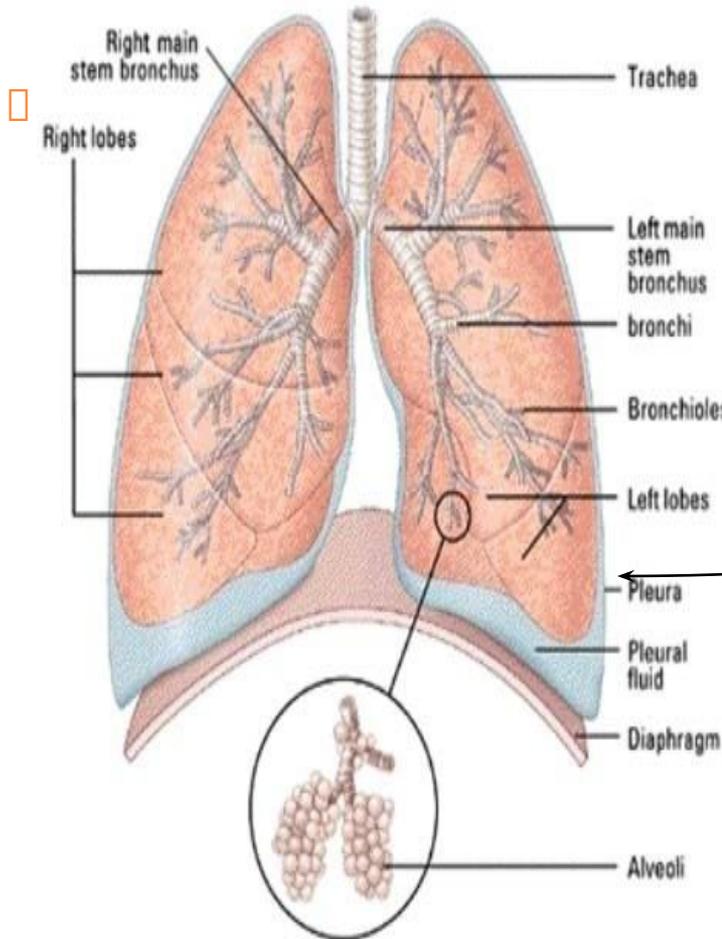
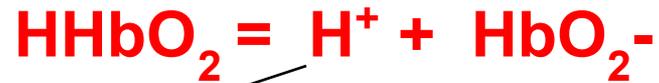
Вследствие уменьшения концентрации  $\text{HCO}_3^-$  в плазме крови, из эритроцитов в плазму переходят ионы  $\text{Cl}^-$ , где связываются с ионами  $\text{Na}^+$ .

В результате этих преобразований **соотношение в артериальной крови**

**$\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$  остаётся оптимальным (20:1).**



□ Все указанные процессы можно выразить схемой:



## Кислотно-основное состояние

- ▣ Таким образом, благодаря буферному действию буферных систем происходит лишь небольшое снижение рН крови, т.е. **сохраняется кислотно-основное состояние**, несмотря на поступление в кровь значительных количеств кислот,
- ▣ т.к. в процессе усвоения пищи в организме **генерируются значительное количество диоксида углерода (550- 775 г/сут)**, при взаимодействии которого с с влагой образуется угольная кислота в количестве, эквивалентном поступлению в кровь от 25 до 35 ммоль/ сут ионов  $H^+$ .



# Кислотно-основное состояние

- Кислотно-основное состояние организма – неотъемлемая часть гомеостаза внутренней среды организма.
- Физиологические системы регуляции кислотно-основного состояния связаны с функциональной активностью лёгких и почек.
- Смещение кислотно-основного равновесия крови в сторону повышения концентрации ионов  $H^+$  (снижения рН) и уменьшения резервной щёлочности называется ацидозом.
- смещение его в сторону снижения концентрации ионов водорода (повышение рН) и увеличение резервной щёлочности- алкалозом.



# Ацидоз и алкалоз

**В зависимости от механизма развития расстройств кислотно-основного состояния выделяют**

- дыхательный и**
- метаболический ацидоз и алкалоз.**

**Метаболический ацидоз характеризуется нарушением метаболизма и может наступить в результате **следующих причин:****

- избыточное введение или образование в организме стойких кислот (поступление кетокислот при голодании и диабете,**



**повышенное образование молочной кислоты при шоке; поступление кислот с пищей, питьём, медикаментами, в результате вдыхания загрязнённого воздуха и т.д.);**

- неполное удаление кислот( при почечной недостаточности);**
- избыточные потери  $\text{HCO}_3^-$  иона ( в результате поноса, колита, язвы кишечника)**



- **Метаболический алкалоз** наступает вследствие:
- потери ионов  $\text{H}^+$  (рвоте, кишечной непроходимости и др.);
- Увеличения концентрации  $\text{HCO}_3^-$  иона (при потере воды, введение солей органических кислот- молочной, уксусной, лимонной, катаболизирующих с поглощением ионов  $\text{H}^+$  ).

