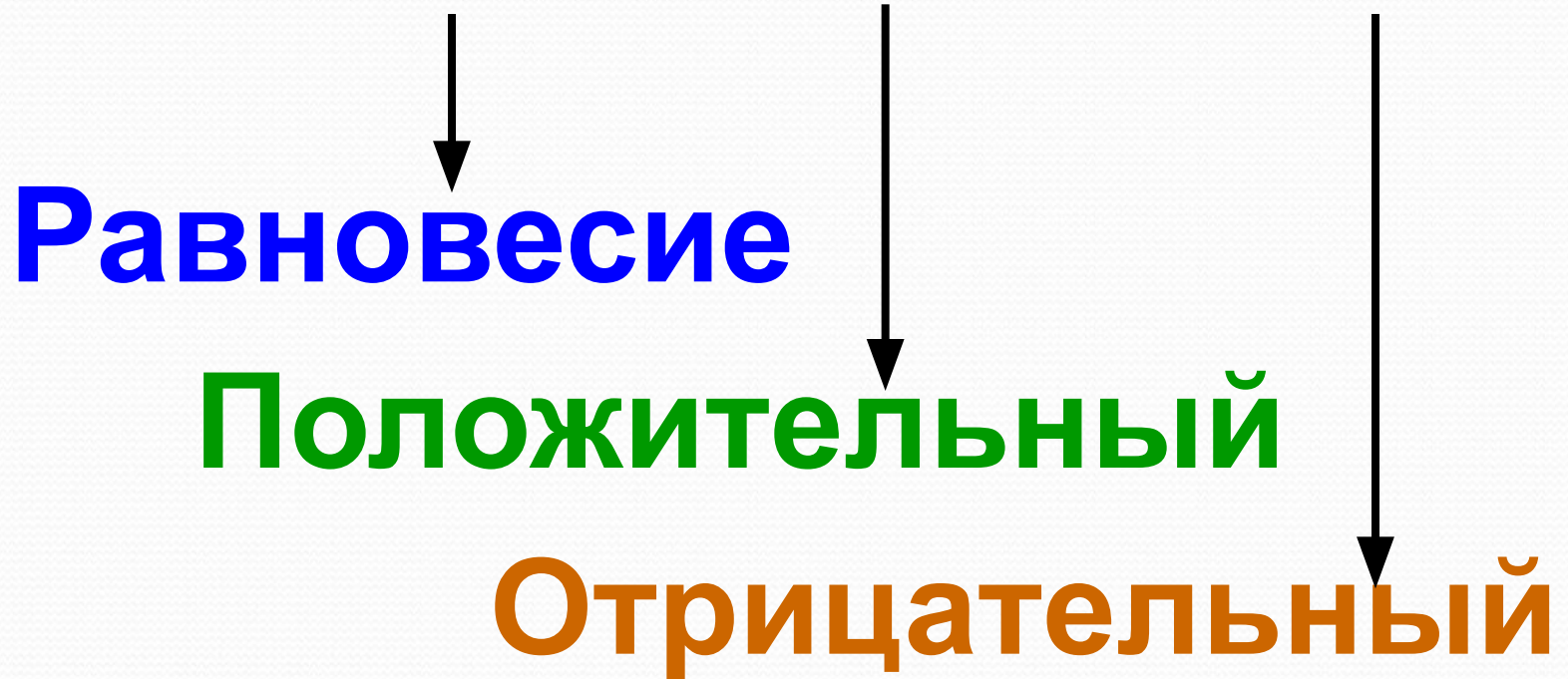


# Обмен белков и аминокислот

# Азотистый баланс



# источники и пути расходования

## АМИНОКИСЛОТЫ



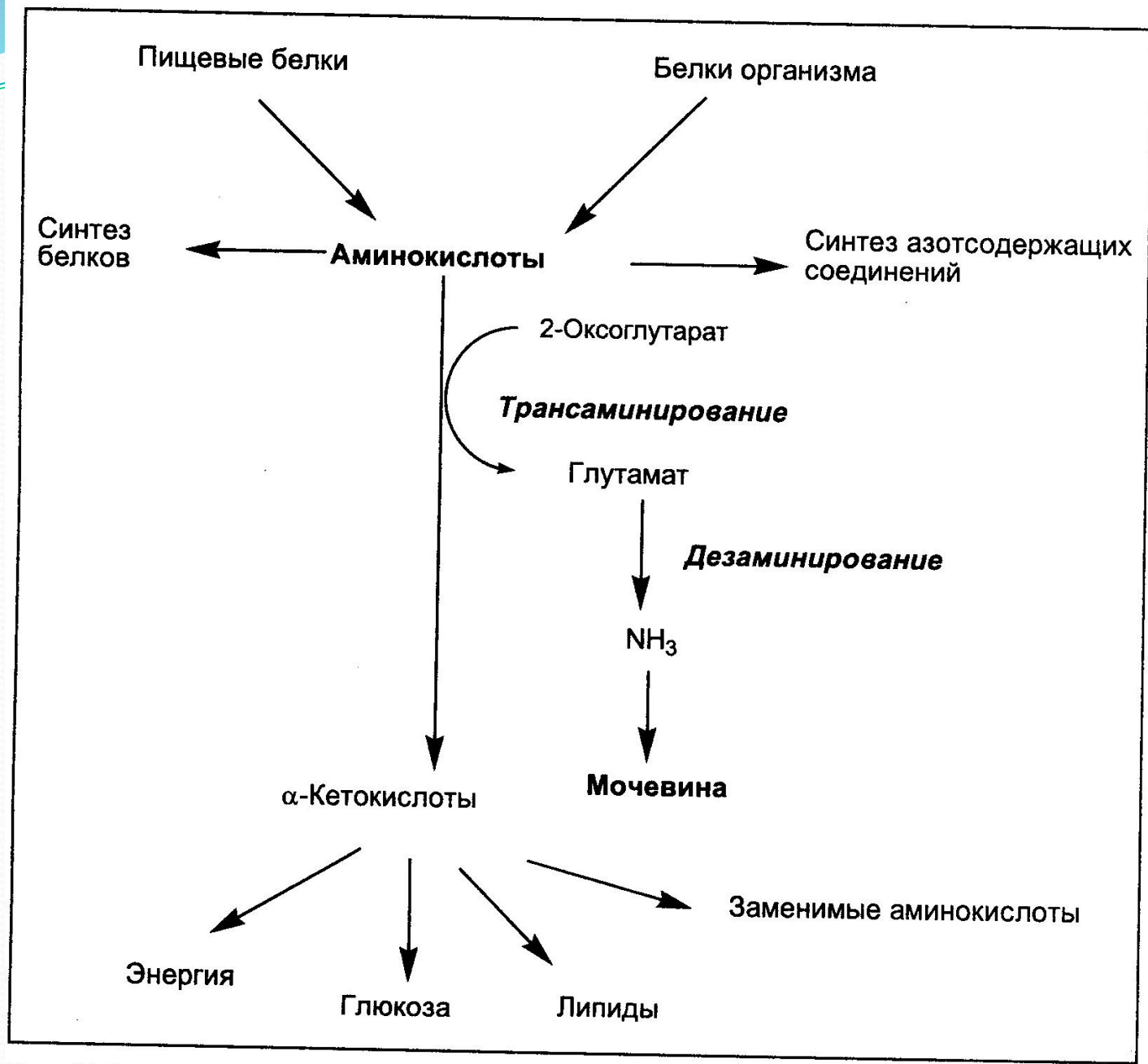


Рис. 20.4. Пути превращения аминокислот.

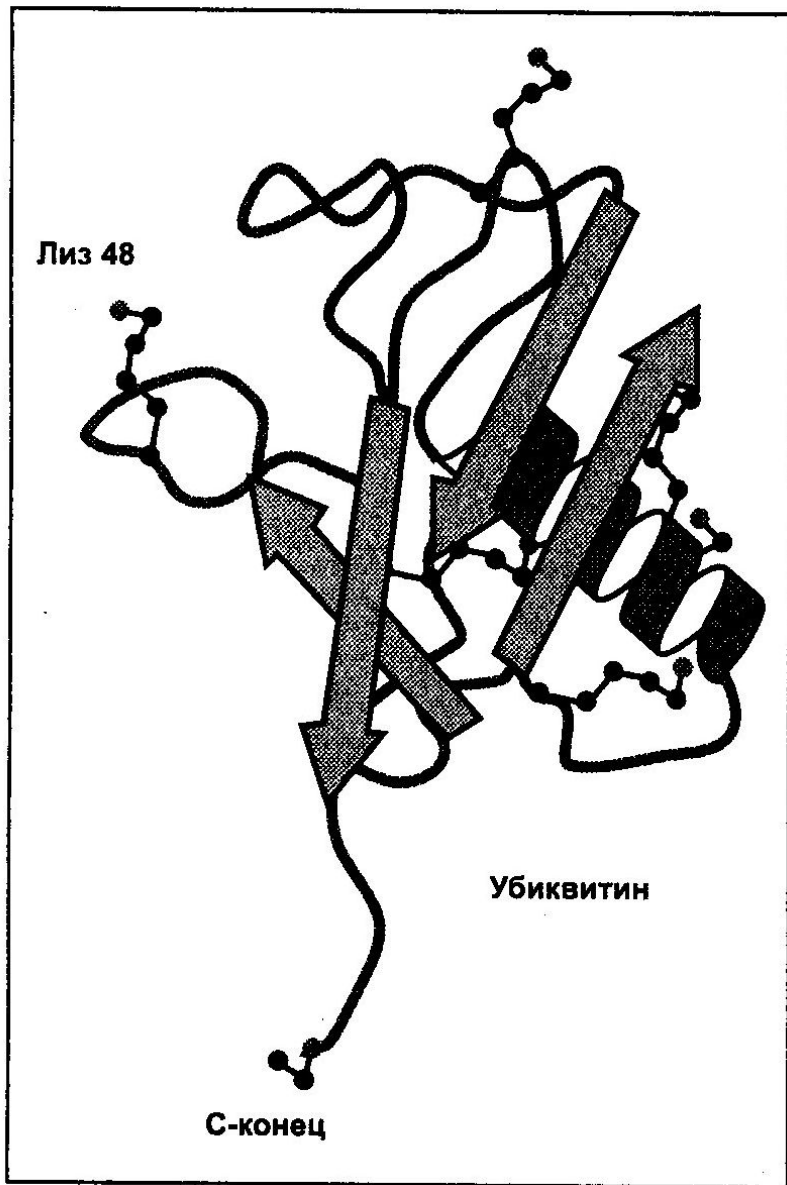


Рис. 20.2. Убиквитин (Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L., с изм.).

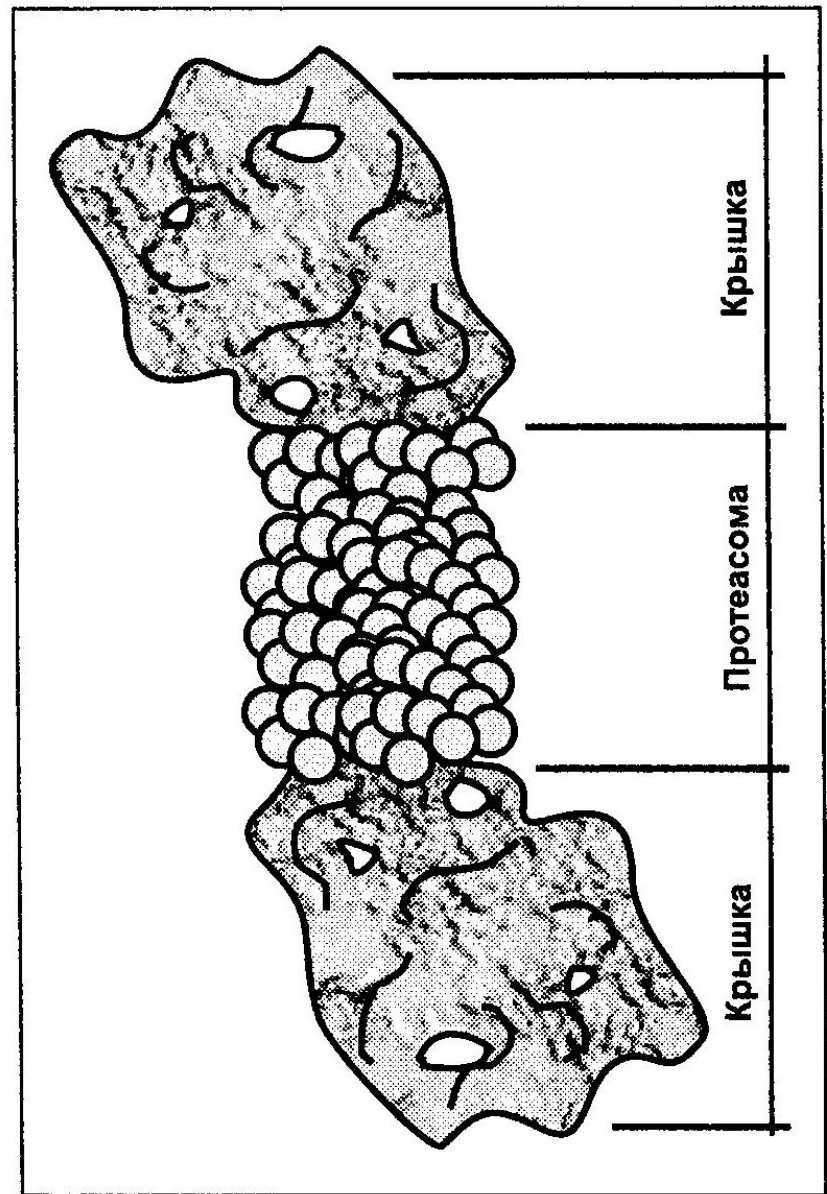


Рис. 20.3. Протеасома (по W. Baumeister, 1998, с изм.).

# Заменяемые и незаменимые аминокислоты

заменяемые	незаменимые	заменяемые	незаменимые
Аланин	Аргинин*	Глутамин	Лизин
Аспарагино- вая кислота	Валин	Пролин	Метионин
Аспарагин	Гистидин*	Серин	Треонин
Глицин	Изолейцин	Тирозин	Триптофан
Глутамино-вая кислота	Лейцин	Цистеин	Фенилаланин

\* - частично заменяемые аминокислоты

# Количество белка в некоторых пищевых

## продуктах

Продукт	Содержание белка, %
Мясо	18-20
Рыба	17-20
Сыр	20-36
Молоко	3,5
Рис	8
Горох	26
Соя	35
Картофель	1,5-2
Капуста	1,1-1,6
Морковь	0,8-1,0
Яблоки	0,3-0,4

# Содержание незаменимых аминокислот в белках различного происхождения

Аминокислота	Содержание аминокислоты в продуктах, в процентах от сухой массы					
	пшеничная мука	соевая мука	рыбная мука	говядина	коровье молоко	кормовые дрожжи
Арг	4,2	4,7	5,0	7,7	4,1	8,0
Гис	2,2	2,4	2,3	3,3	2,6	1,7
Иле	4,2	5,4	4,6	6,0	7,8	5,5
Лей	7,0	7,7	7,8	8,0	11,0	7,6
Лиз	1,9	6,5	7,5	10,0	8,7	6,8
Мет	1,5	1,4	2,6	3,2	0,8	1,2
Фен	5,5	5,1	4,0	5,0	5,5	3,9
Тре	2,7	4,0	4,2	5,0	4,7	5,4
Трп	0,8	1,5	1,2	1,4	1,5	1,6
Вал	4,1	5,0	5,2	5,5	7,1	6,0

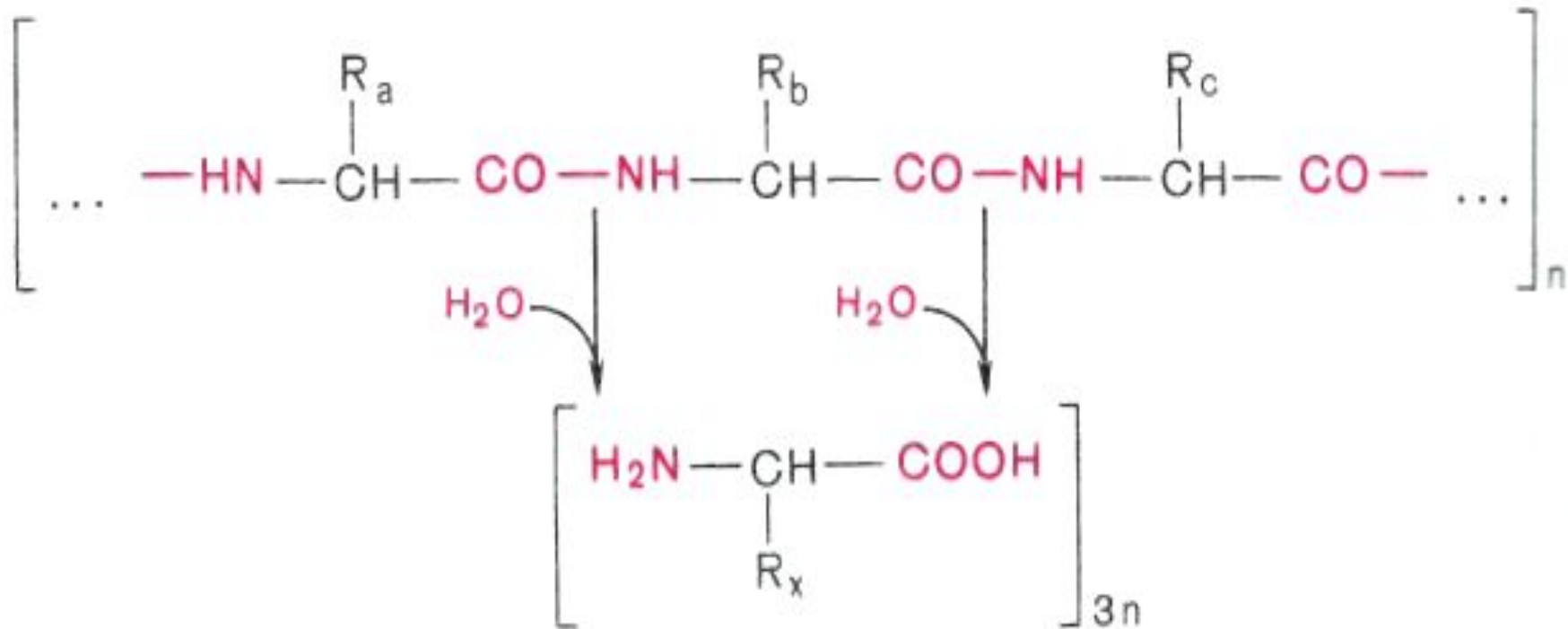


# Протеиназы ЖКТ

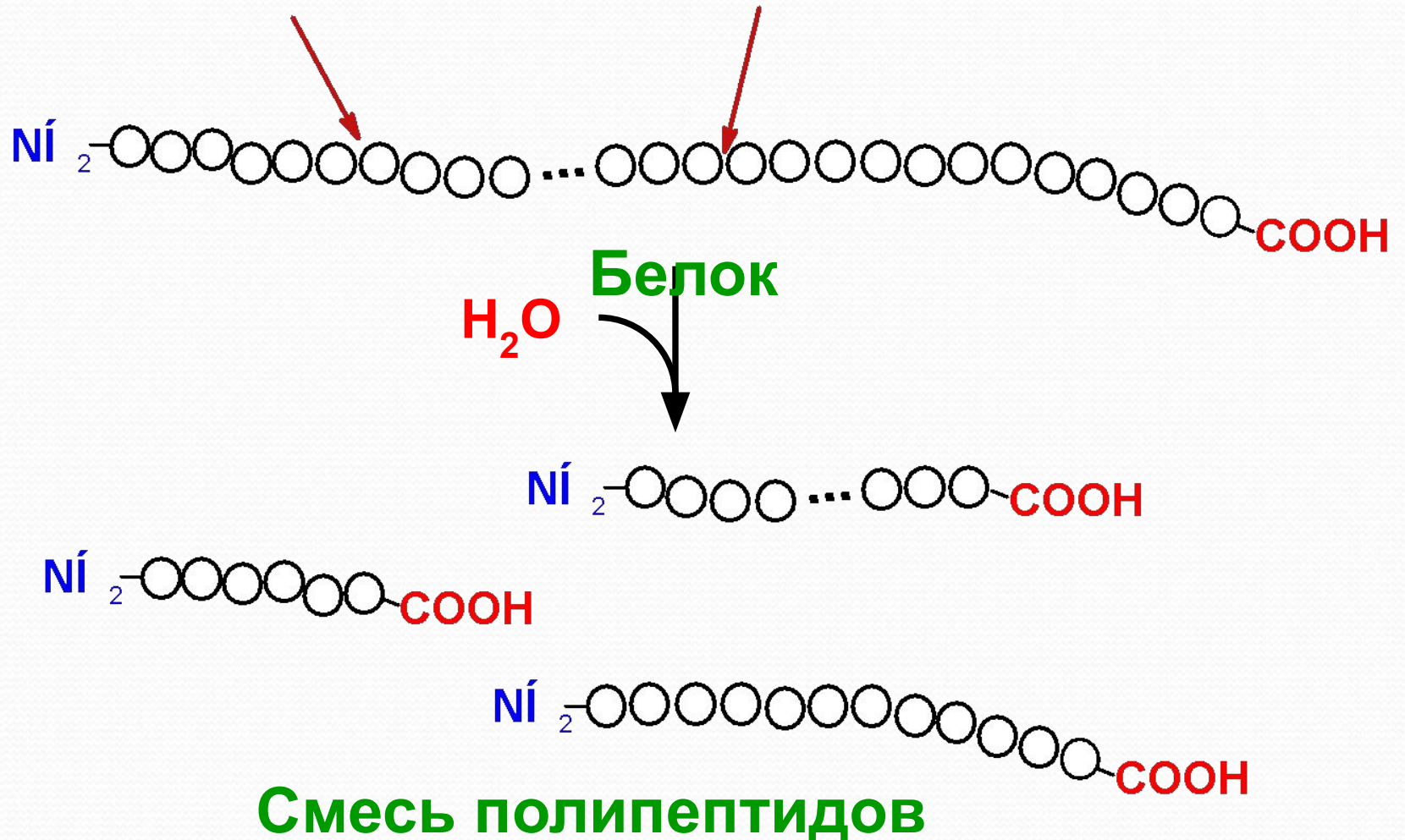
## Эндопептидазы      Экзопептидазы

- Пепсин;
  - Реннин;
  - Гастриксин;
  - Трипсин;
  - Химотрипсин;
  - Эластаза.
- Карбоксипептидазы А и В;
  - Аминопептидазы;
  - Дипептидазы;
  - Трипептидазы.

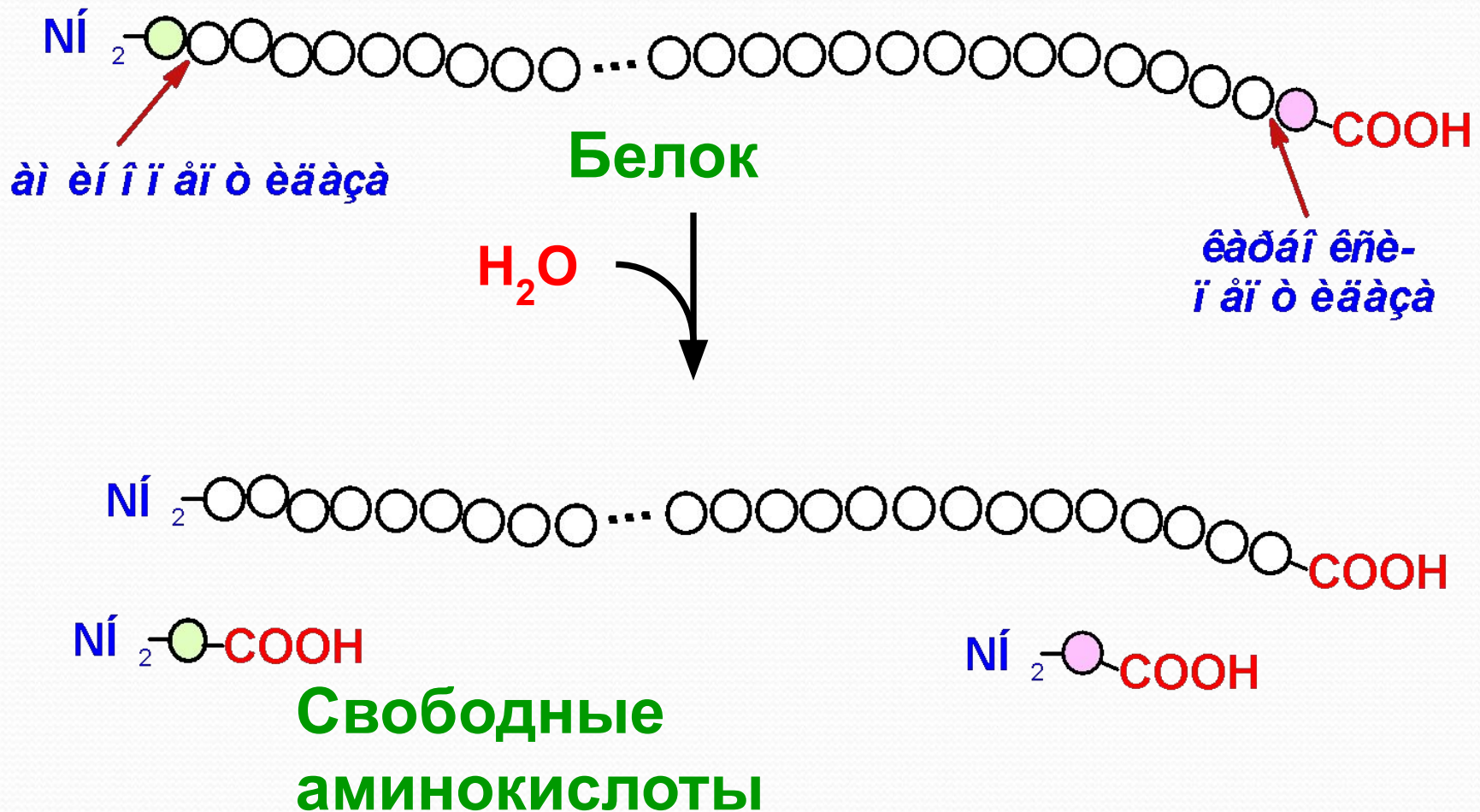
# Схема действия эндопептидаз



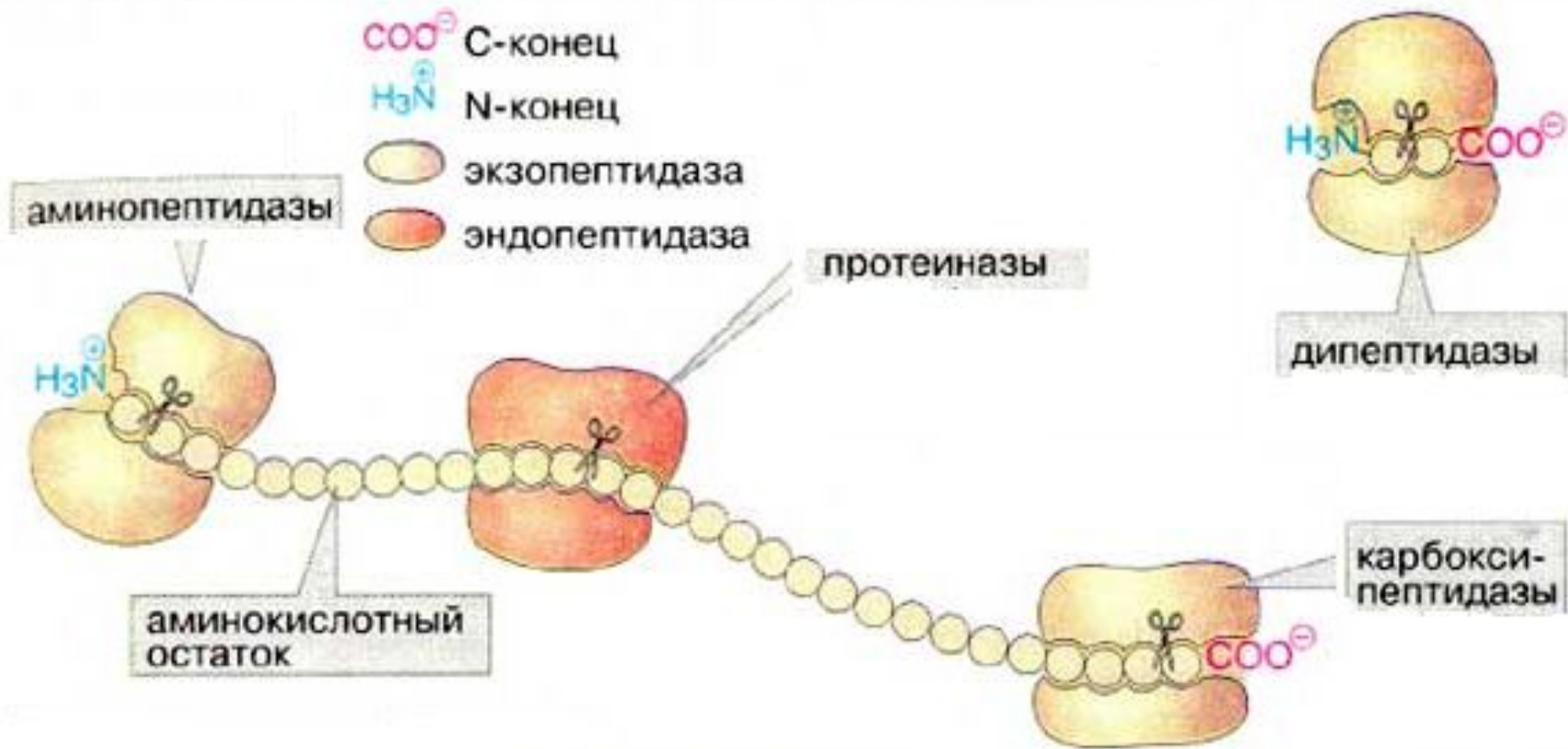
# Схема действия эндопептидаз



# Схема действия экзопептидаз



# Схема действия протеиназ

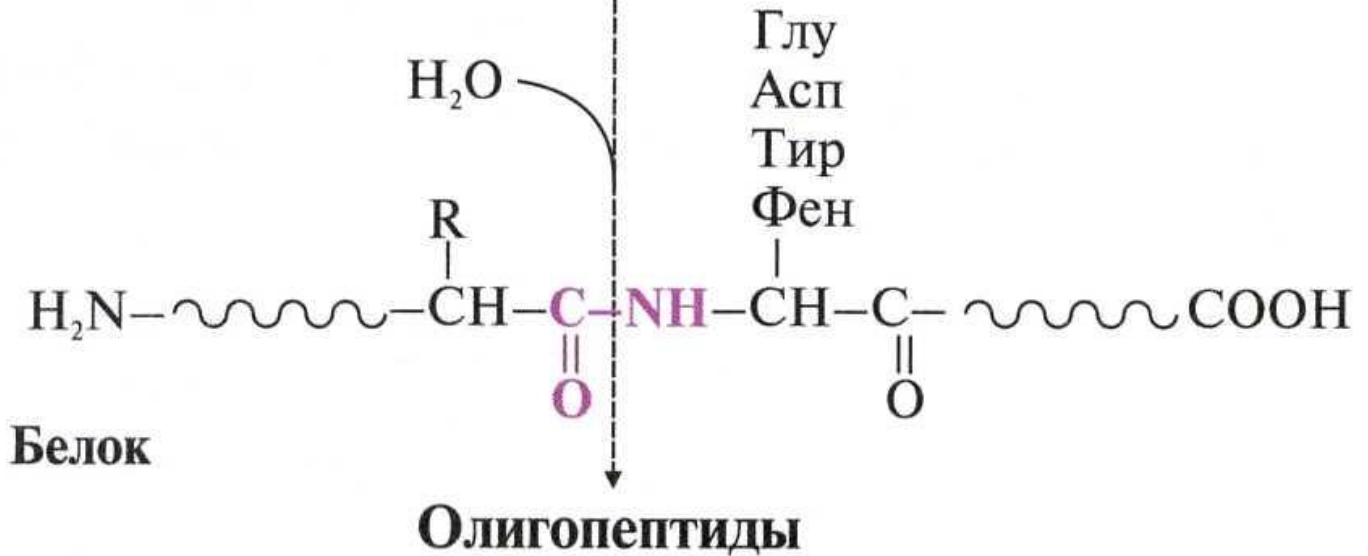


# Протеиназы желудочно-кишечного

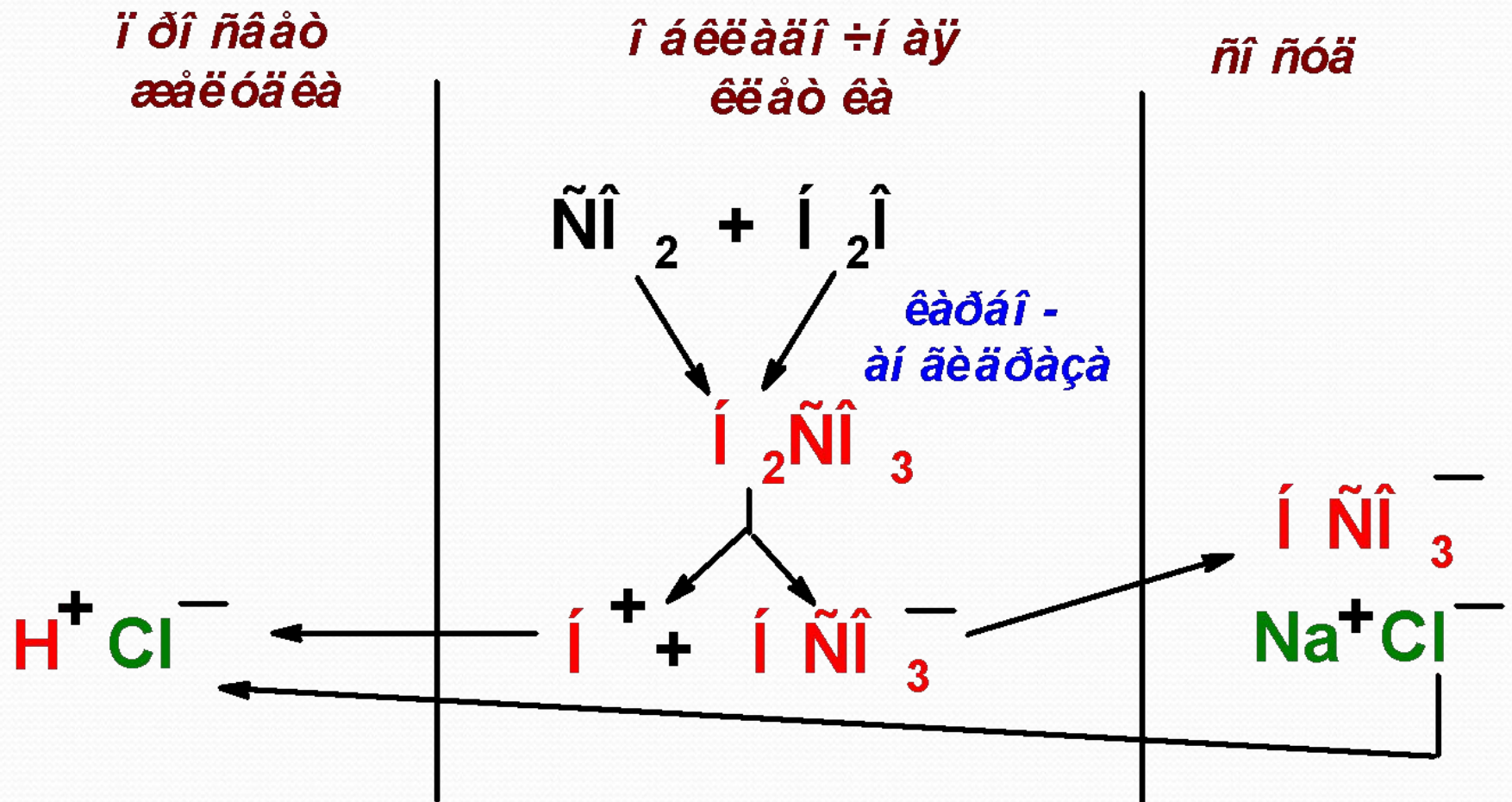
Источник	Ферменты тракта	Субстратная специфичность
Желудочный сок	пепсин	эндопептидазы
	реннин	
	гастриксин	
Панкреатический сок	трипсин	
	химотрипсин	
	коллагеназа	
	эластаза	
Кишечный сок	карбоксипептидаза	экзопептидазы
	аминопептидаза	
	трипептидазы	
	дипептидазы	

# Активация пепсиногена

Желудок  
рН 1,5-2,0



# Секреция соляной кислоты в желудке



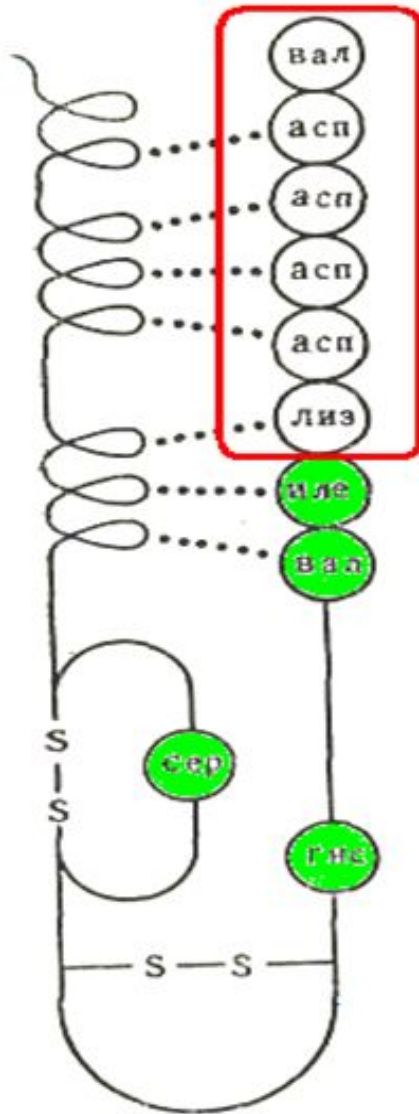


# Компоненты желудочного сока

## В норме и при патологии

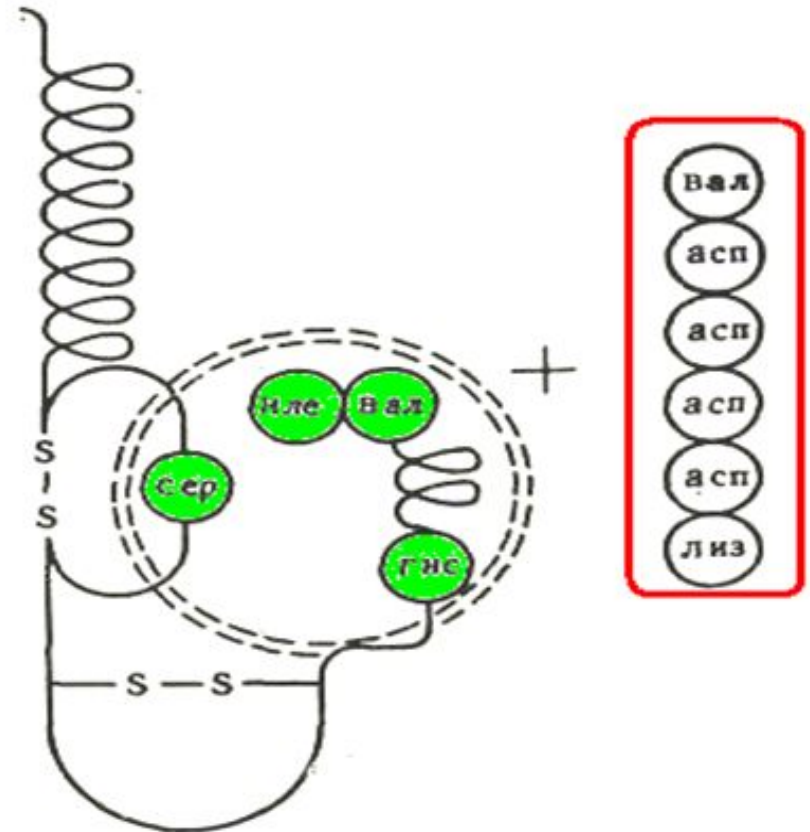
Состояние	pH	кислотность (ТЕ)			пепсин
		общая	связанная HCl	свободная HCl	
Норма	1,5-2,5	40-60	20-30	20-40	+
Гиперацидное состояние	≈ 1,0	> 60		> 40	±
Гипоацидное состояние	> 2,5	< 40		< 20	±
Ахилия	7,0	0		-	-

# Активация трипсиногена



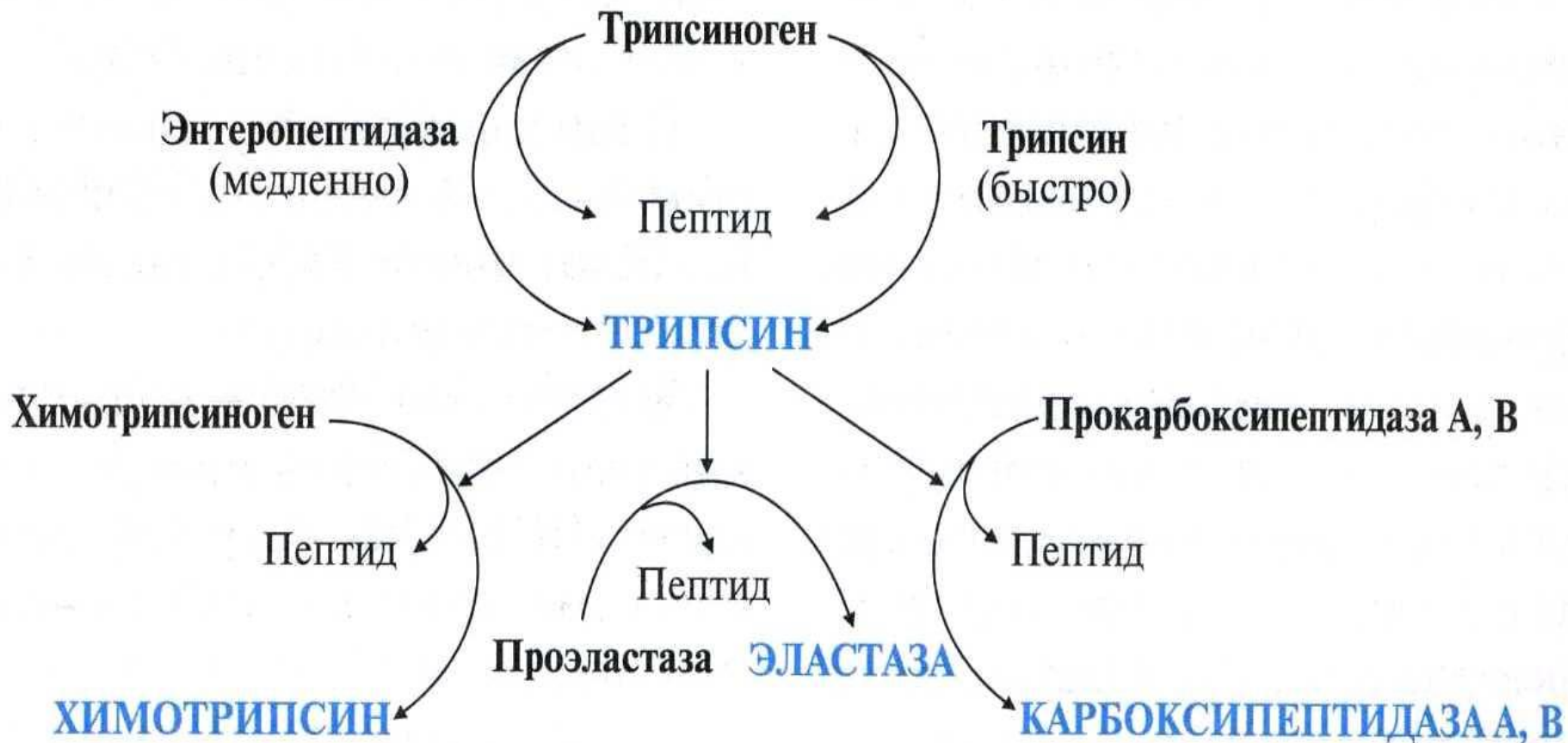
Трипсиноген  
неактивный

Энтеро-  
пептидаза



Трипсин  
активный

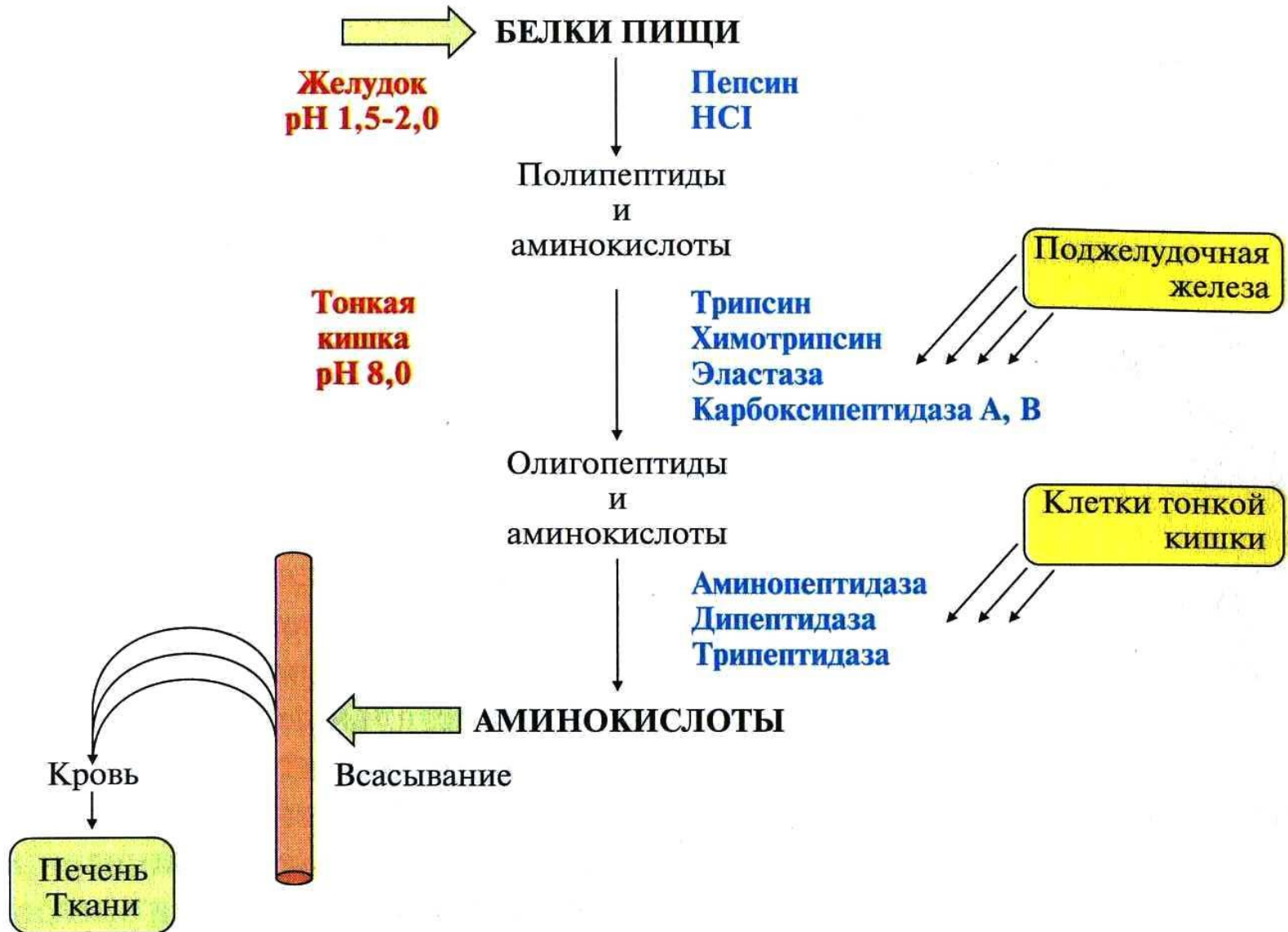
# Активация протеолитических ферментов



# Пищеварительные соки

Пищевари- тельный сок	Кол-во, л	рН	Химический состав, %		
			Вода	Орг.в-ва (белки)	Неорг. в-ва
<b>Желудочный сок</b>	<b>2-2,5</b>	<b>1,5-2,5</b>	<b>99</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
<b>Панкреати- ческий сок</b>	<b>0,6-0,8</b>	<b>7,5-8,2</b>	<b>98,4</b>	<b>1,2</b>	<b>0,6</b>
<b>Кишечный сок</b>	<b>2-3</b>	<b>8,5</b>	<b>98,7</b>	<b>0,5-1,0</b>	<b>0,3</b>

# Переваривание белков



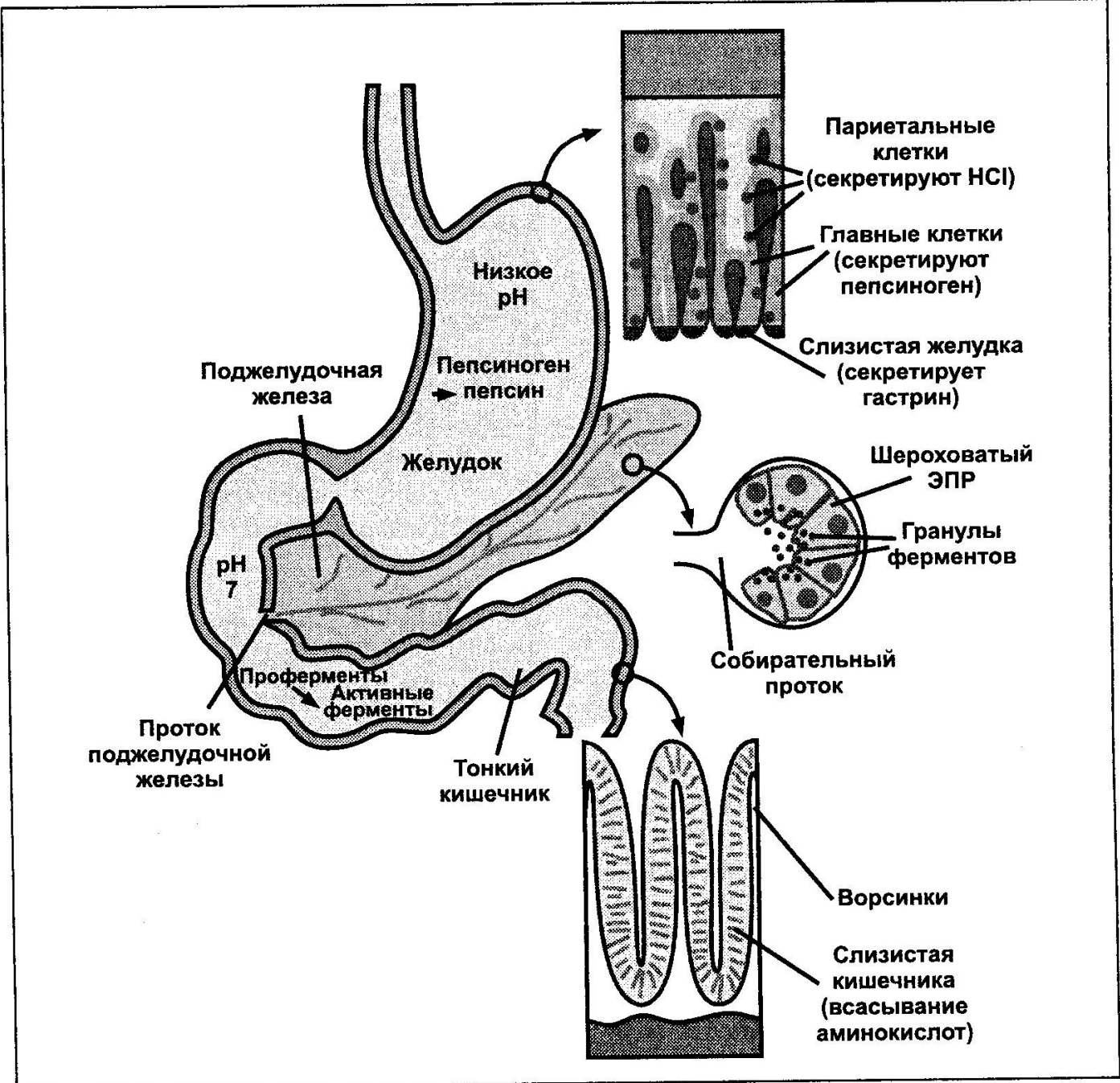
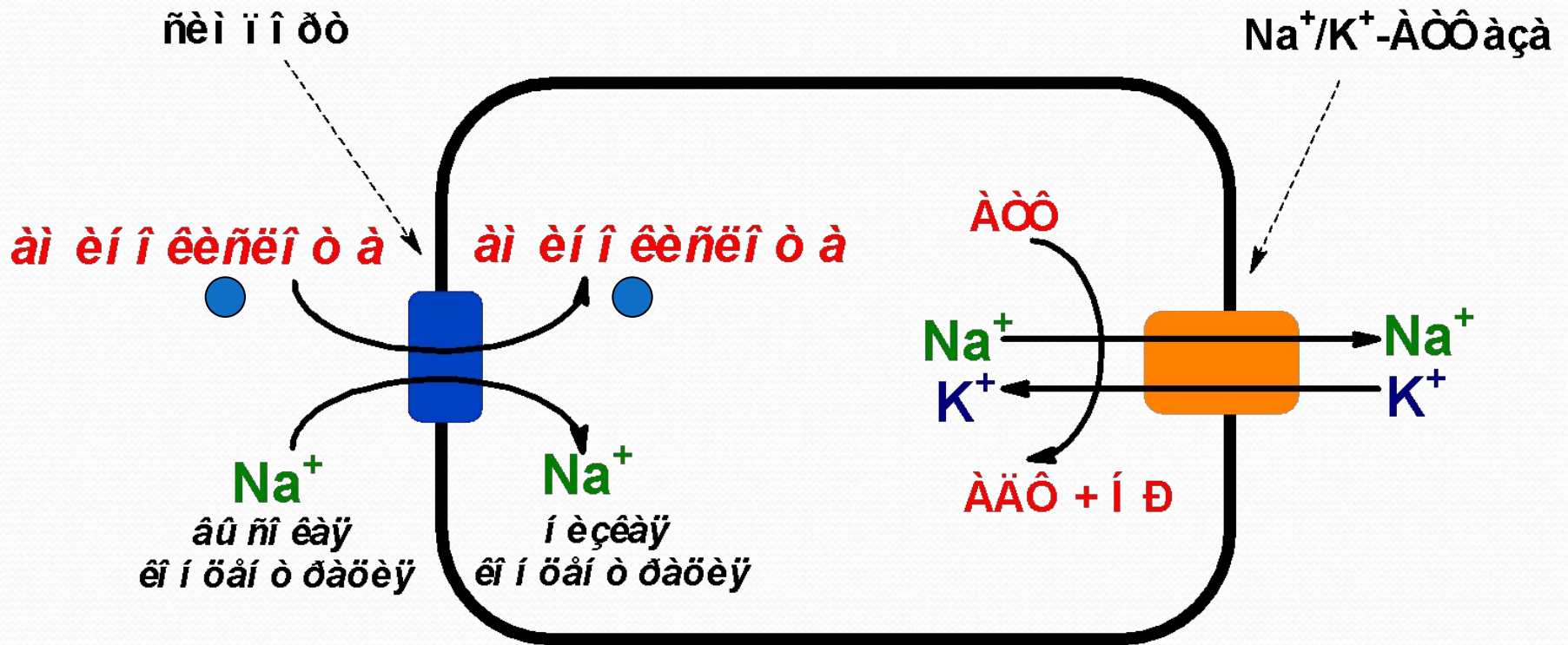


Рис. 20.1. Переваривание белков.

# РЕГУЛЯЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВАРИВАНИЯ БЕЛКОВ

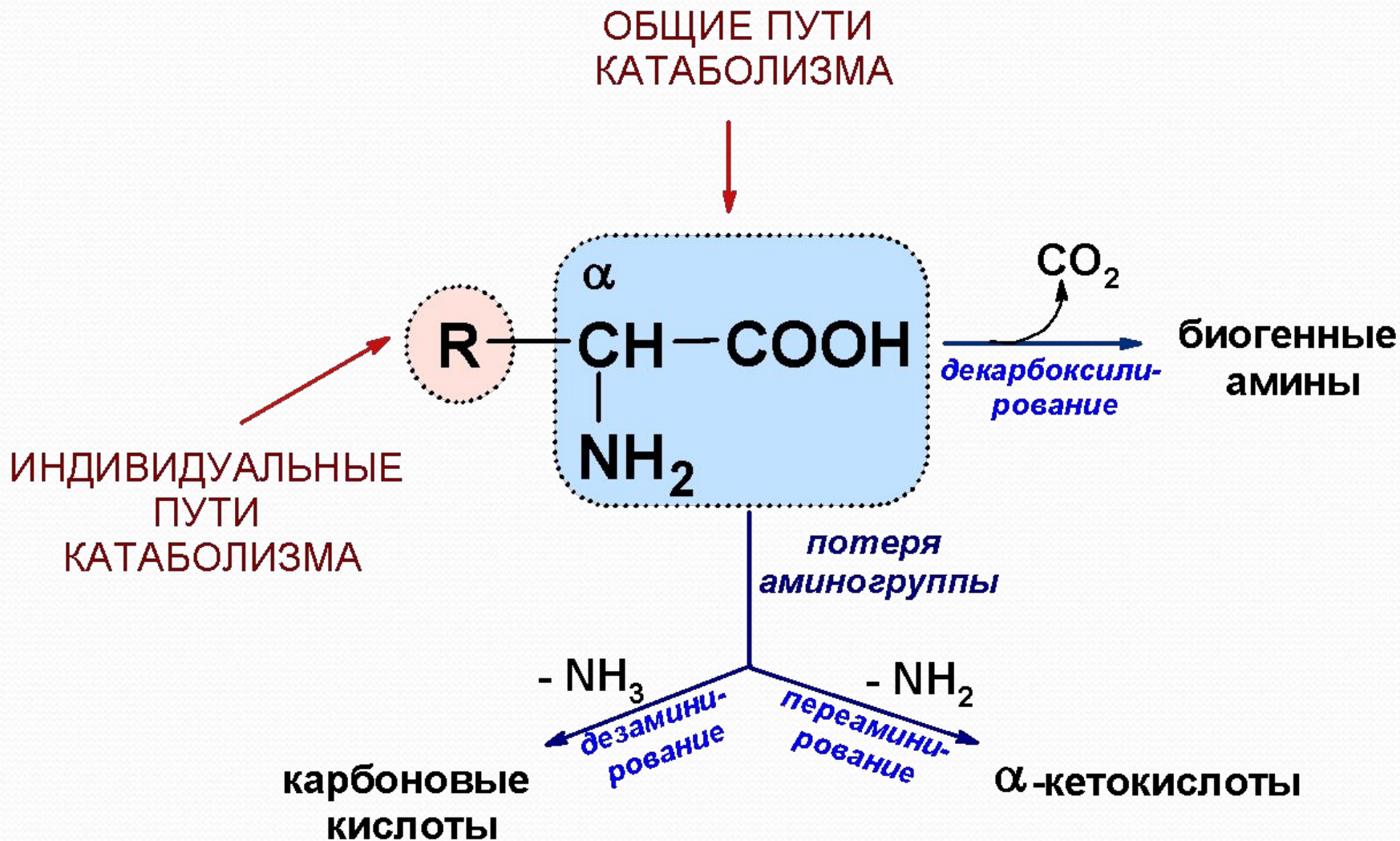
<b>ГОРМОН</b>	<b>МЕСТО ВЫРАБОТКИ</b>	<b>БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ</b>
<b>ГАСТРИН</b>	<b>ПИЛОРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЖЕЛУДКА</b>	<b>УСИЛИВАЕТ СИНТЕЗ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ</b>
<b>ЭНТЕРО- ГАСТРОН СЕКРЕТИН</b>	<b>12-ПЕРСТНАЯ КИШКА</b>	<b>ТОРМОЗИТ ВЫРАБОТКУ НСІ И ПЕПСИНА</b>
<b>СЕКРЕТИН</b>	<b>12-ПЕРСТНАЯ КИШКА, ТОЩАЯ</b>	<b>УСИЛИВАЕТ СИНТЕЗ БИКАРБОНАТОВ И ЖИДКОЙ ЧАСТИ ПАНКРЕАТИЧЕСКОГО СОКА</b>
<b>ХОЛЕЦИСТО- КИНИН</b>	<b>ТОНКИЙ КИШЕЧНИК</b>	<b>УСИЛИВАЕТ СИНТЕЗ ПАНКРЕАТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ</b>
<b>ВАЗОАКТИВНЫЙ ИНТЕСТЕНАЛЬ- НЫЙ ПЕПТИД (ВИП)</b>	<b>ТОНКИЙ КИШЕЧНИК</b>	<b>СТИМУЛИРУЕТ СИНТЕЗ БИКАРБОНАТОВ ВЫРАБОТКУ ЖЕЛЧИ, ТОРМОЗИТ ДЕЯТЕЛЬ- НОСТЬ ЖЕЛУДОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ</b>
<b>ПАНКРЕАТИЧЕС - КИЙ ПОЛИПЕПТИД (ПП)</b>	<b>ТОНКИЙ КИШЕЧНИК</b>	<b>ТОРМОЗИТ ВЫРА- БОТКУ ПАНКРЕАТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ</b>

# Механизм всасывания аминокислот в кишечнике

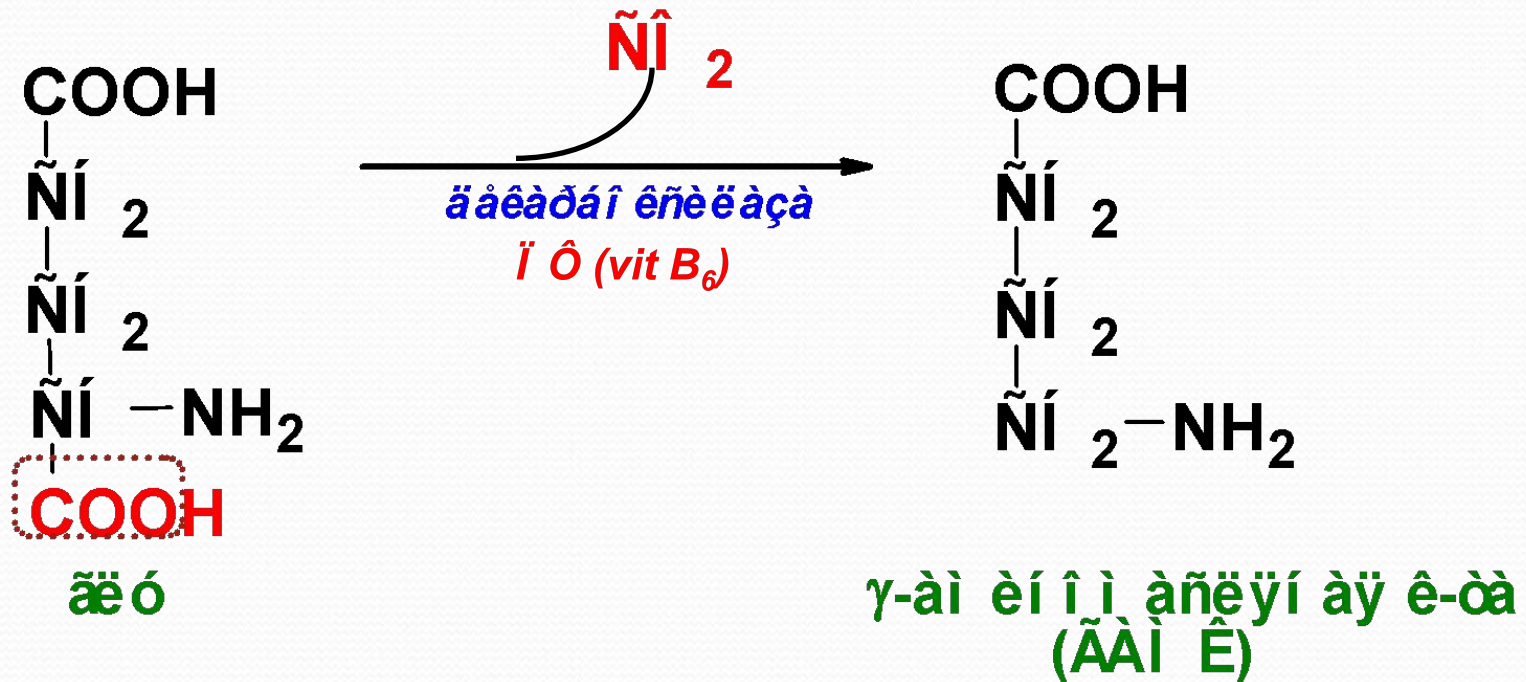
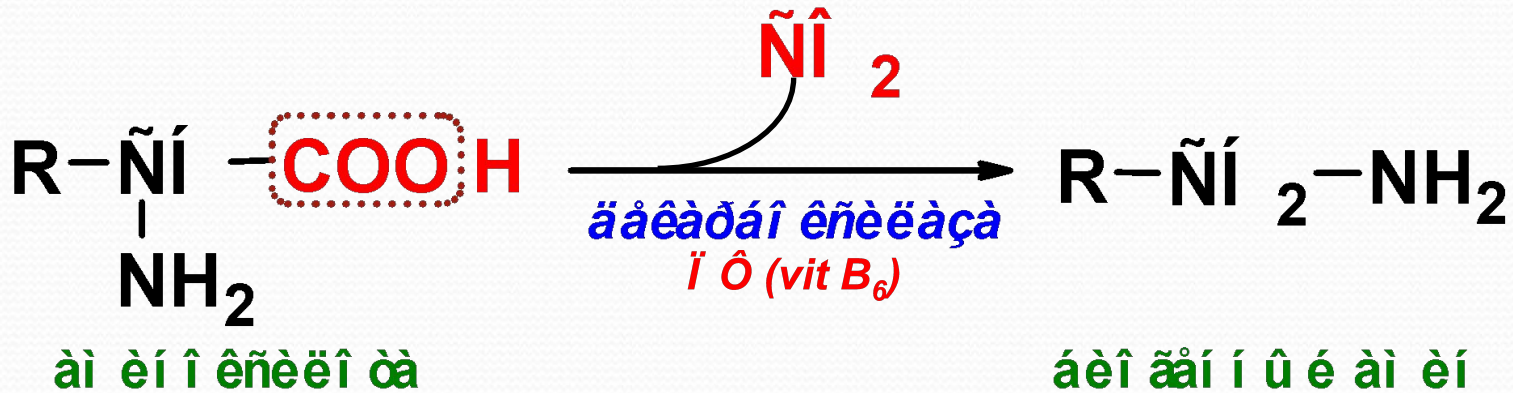




# Катаболизм аминокислот



# Реакции декарбоксилирования



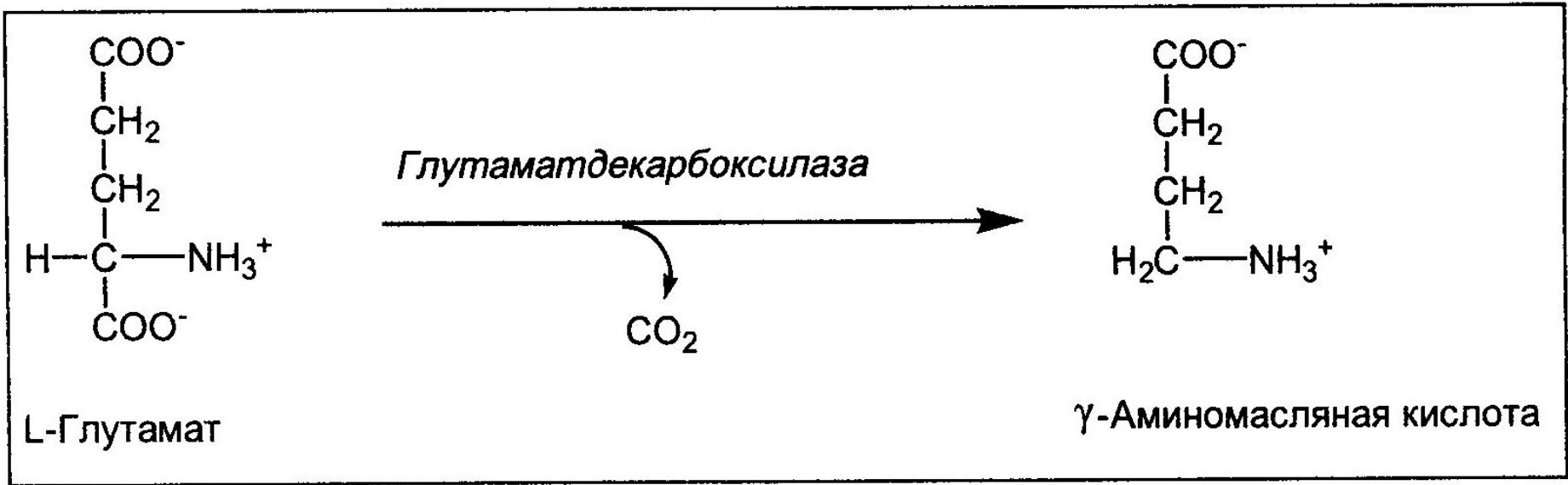
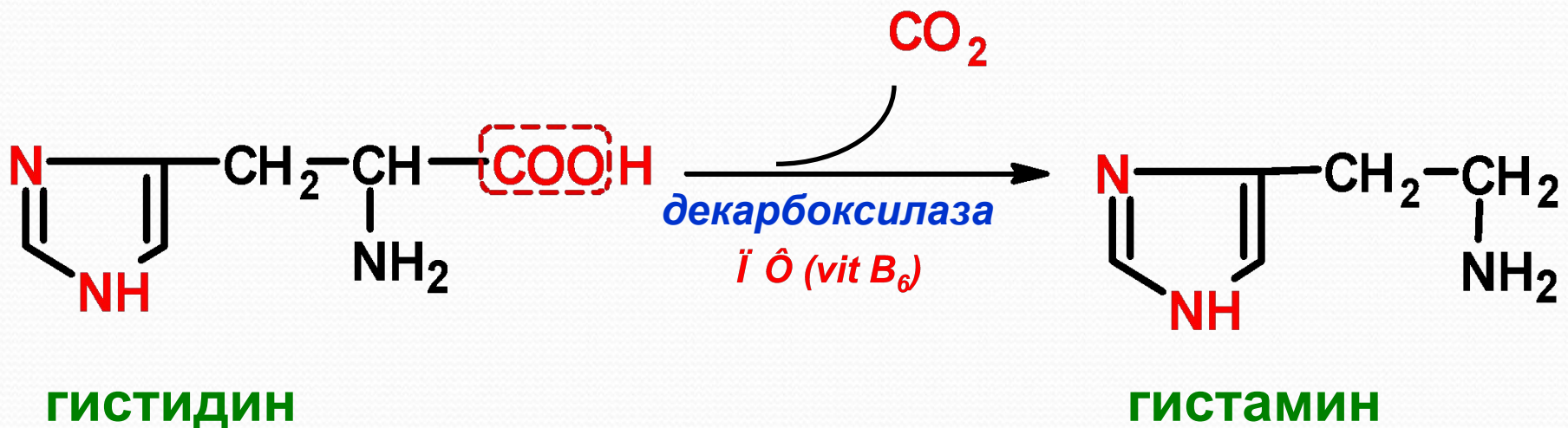


Рис. 20.15. Синтез ГАМК.

# Реакции декарбоксилирования



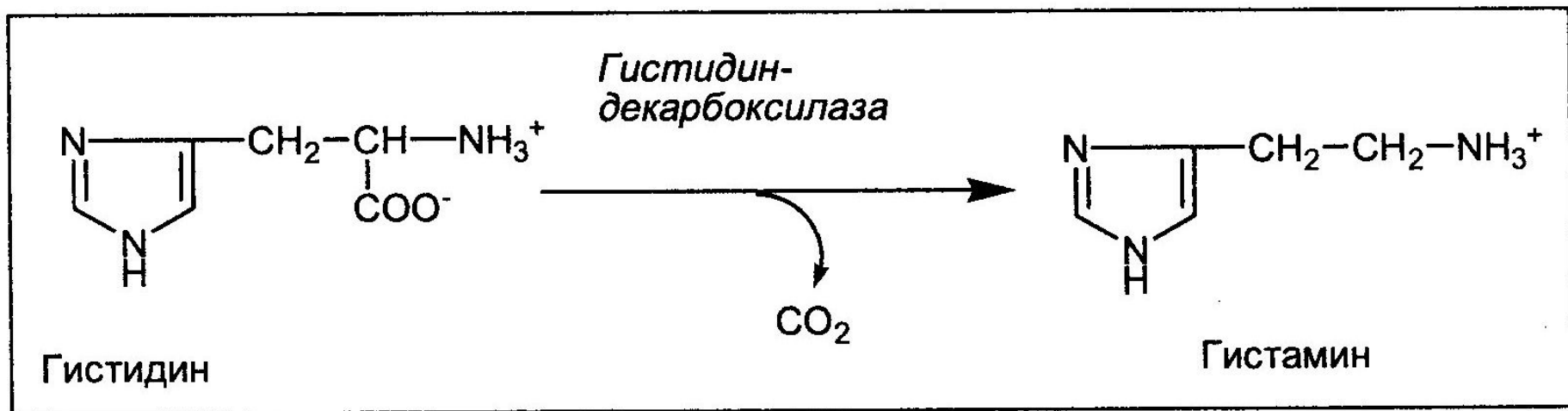
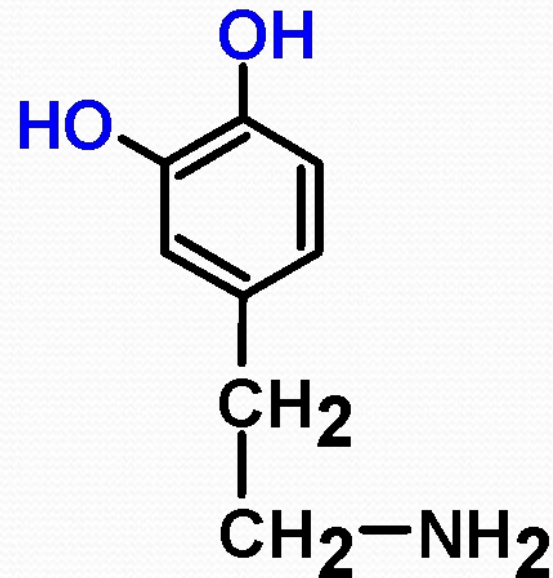
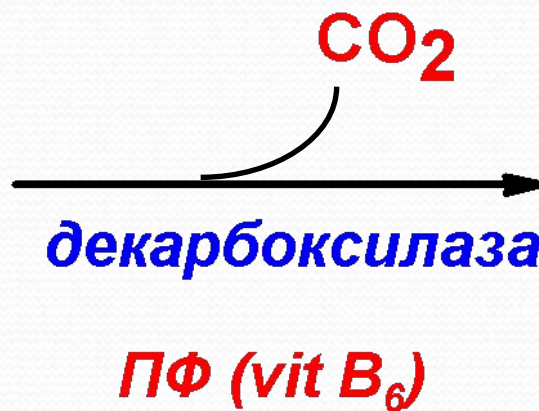
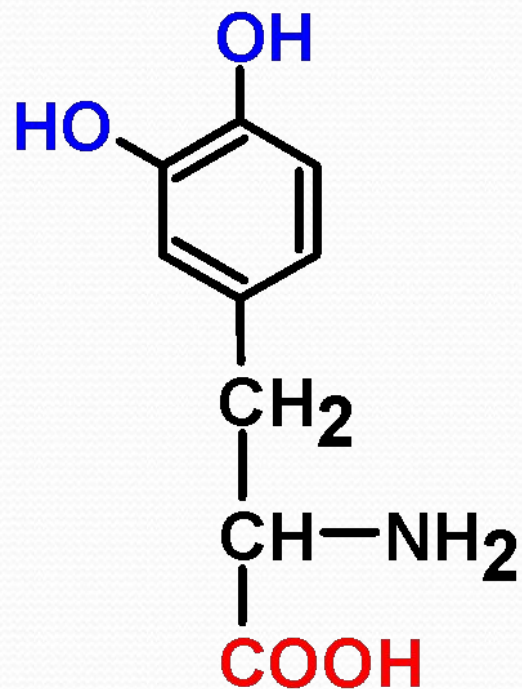


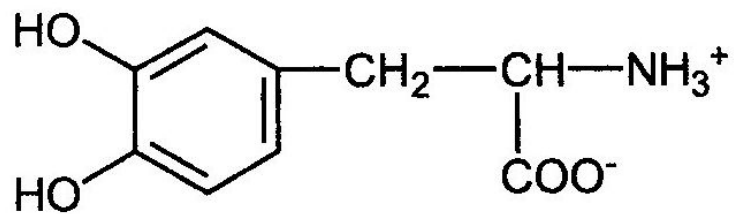
Рис. 20.14. Синтез гистамина.

# Реакции декарбоксилирования



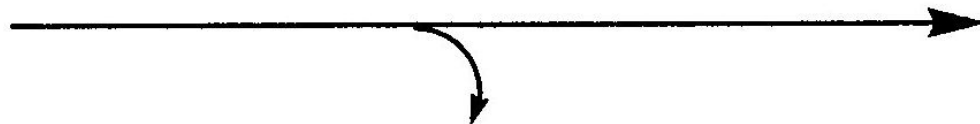
диоксифенилаланин

дофамин

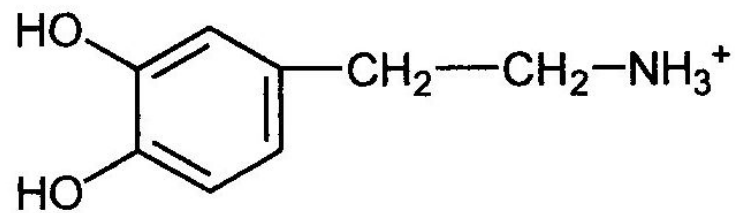


ДОФА

*Декарбоксилаза ароматических  
аминокислот*



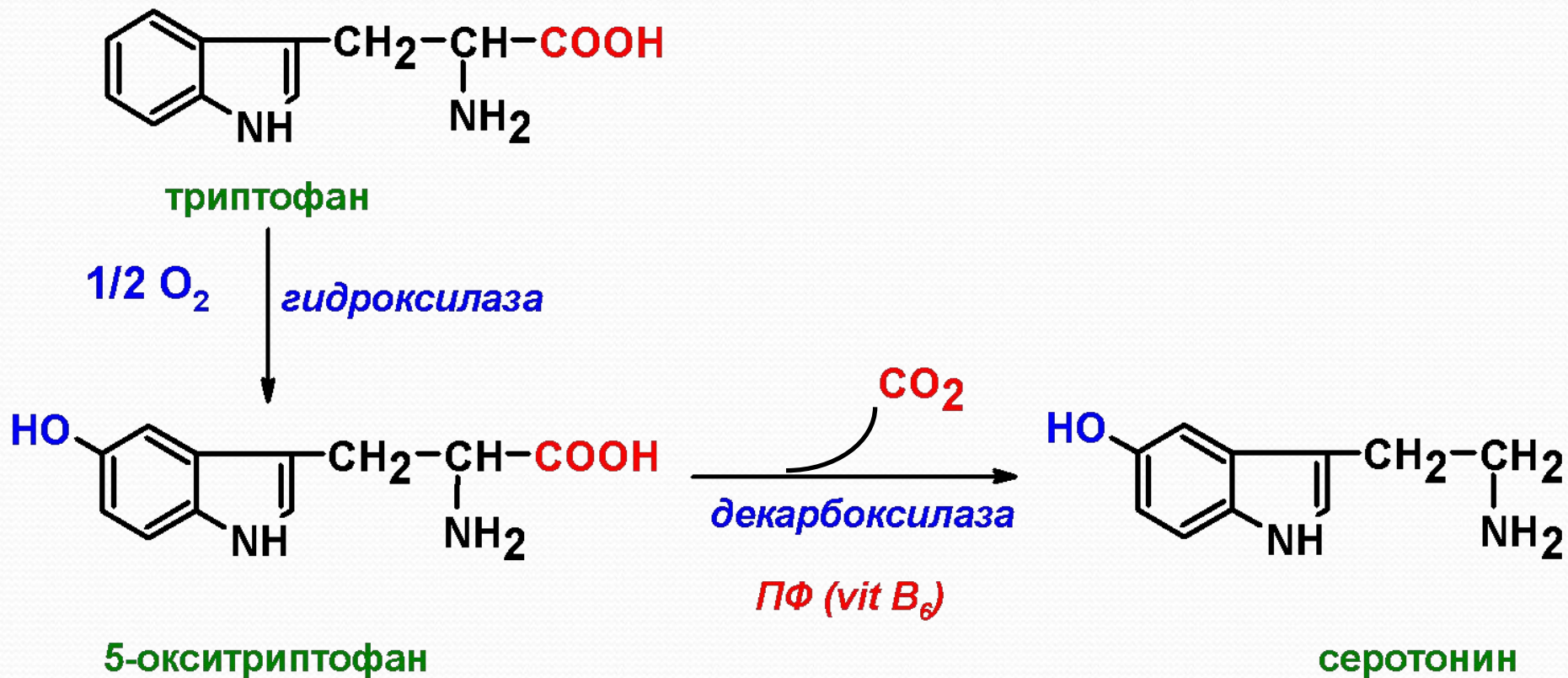
CO<sub>2</sub>



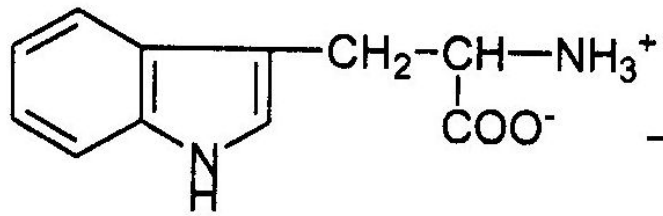
Дофамин

Рис. 20.13. Синтез дофамина.

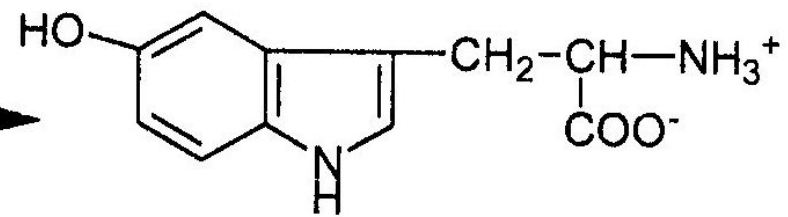
# Реакции декарбоксилирования







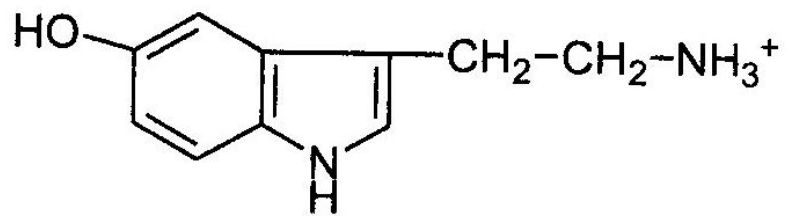
Триптофан



5-гидрокситриптофан



CO<sub>2</sub>

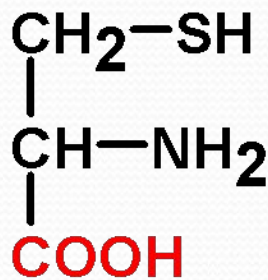


Серотонин

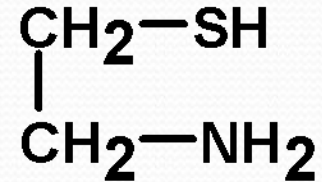
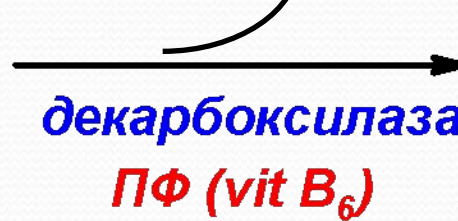
Рис. 20.12. Синтез серотонина.

# Реакции

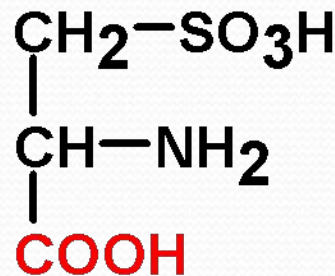
## декарбоксилирования



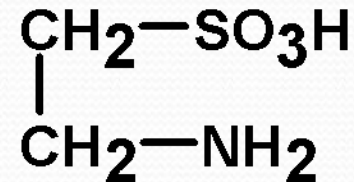
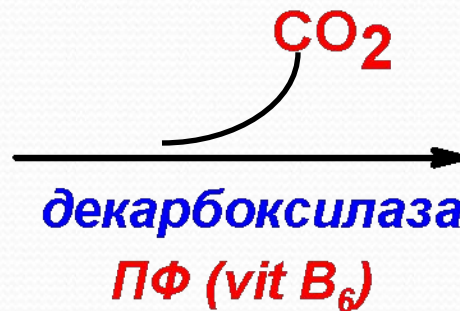
ЦИСТЕИН



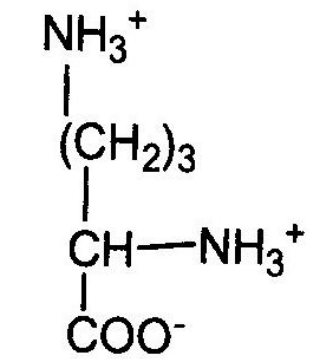
ТИОЭТИЛАМИН



ЦИСТЕИНОВАЯ  
КИСЛОТА

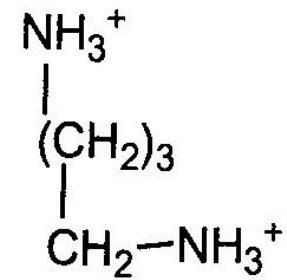
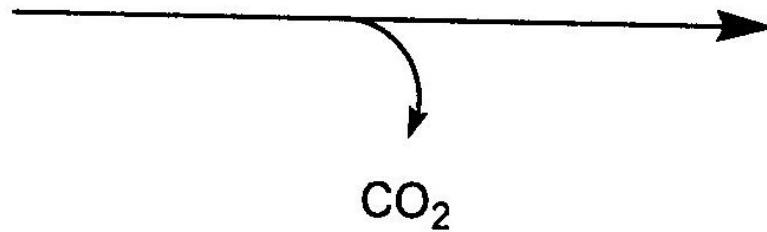


таурин



Орнитин

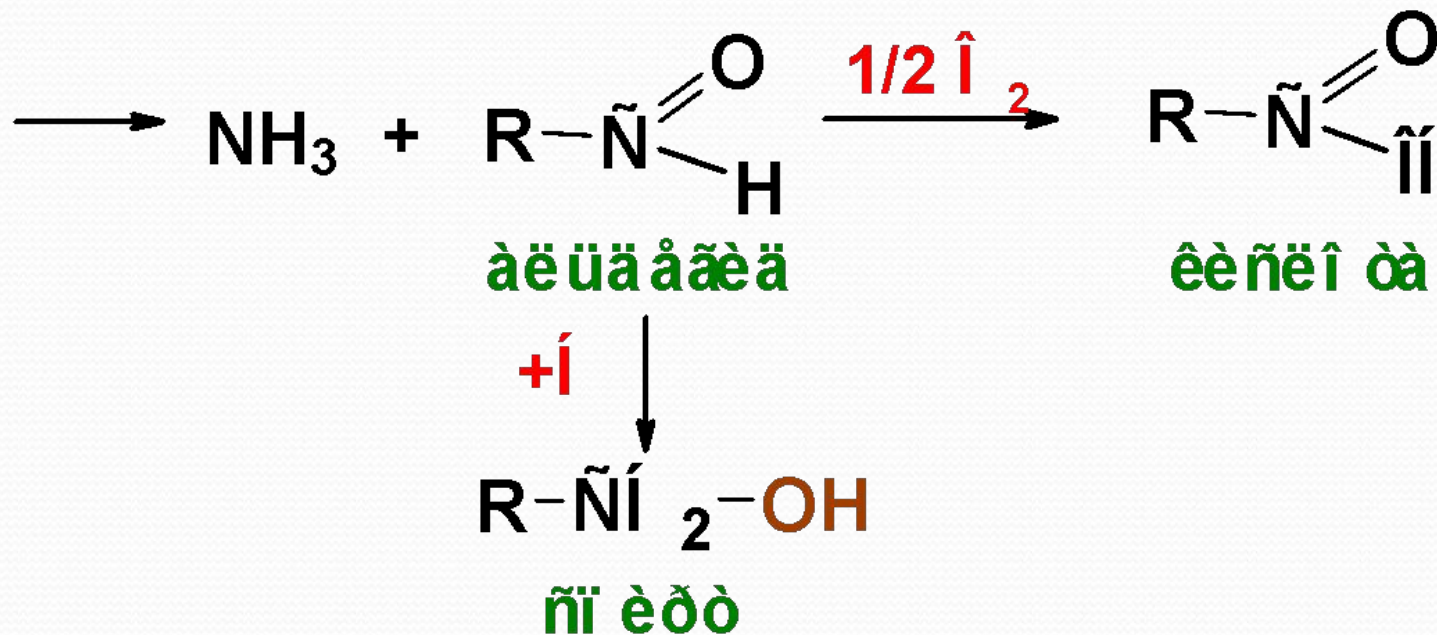
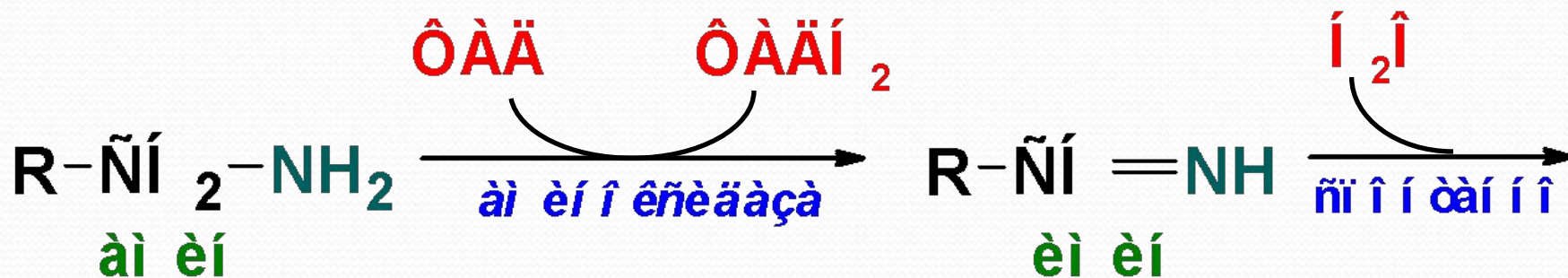
Орнитиндекарбоксилаза



Путресцин

Рис. 20.16. Синтез путресцина.

# Обезвреживание биогенных аминов



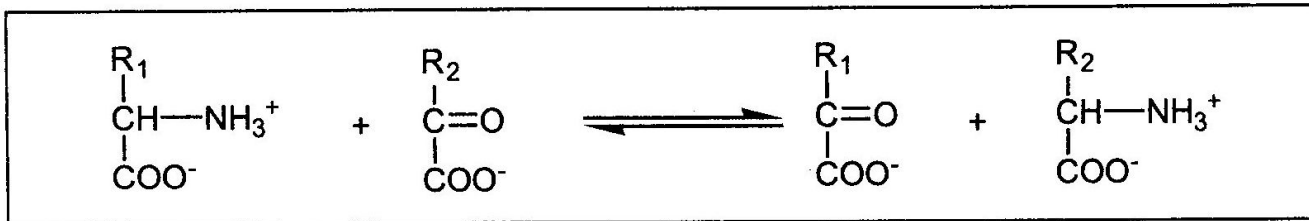


Рис. 20.5. Трансаминирование аминокислот.

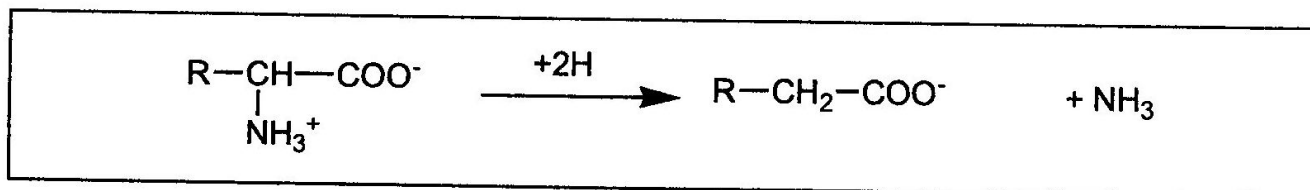


Рис. 20.6. Восстановительное дезаминирование.

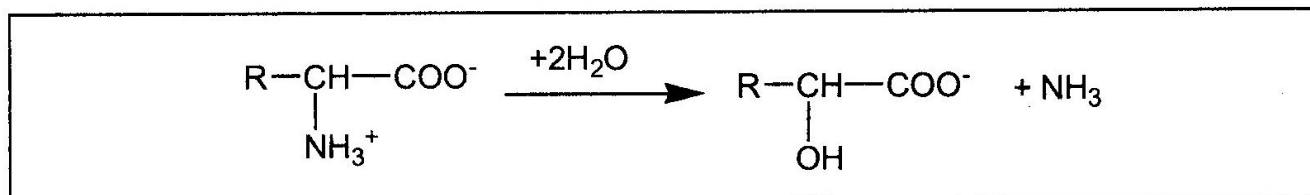


Рис. 20.7. Гидролитическое дезаминирование.

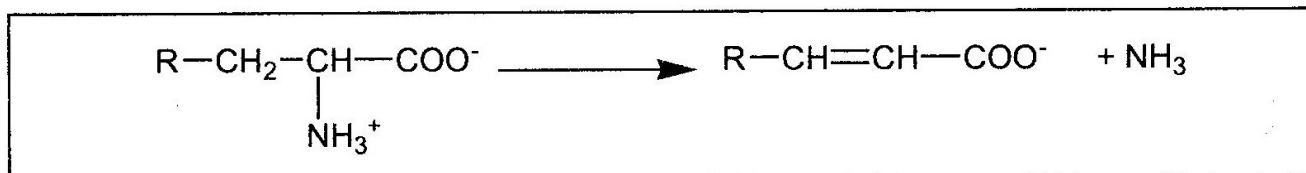


Рис. 20.8. Внутримолекулярное дезаминирование.

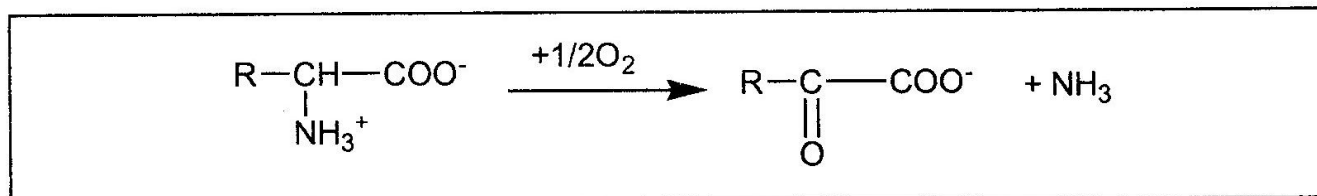
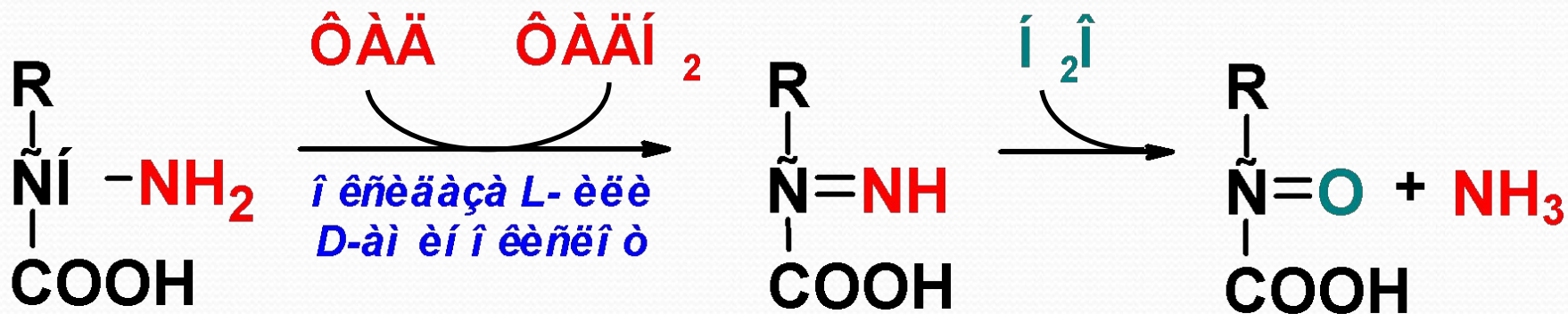


Рис. 20.9. Окислительное дезаминирование.

# Окислительное дезаминирование



аминокислота

аминокислота

аминокислота



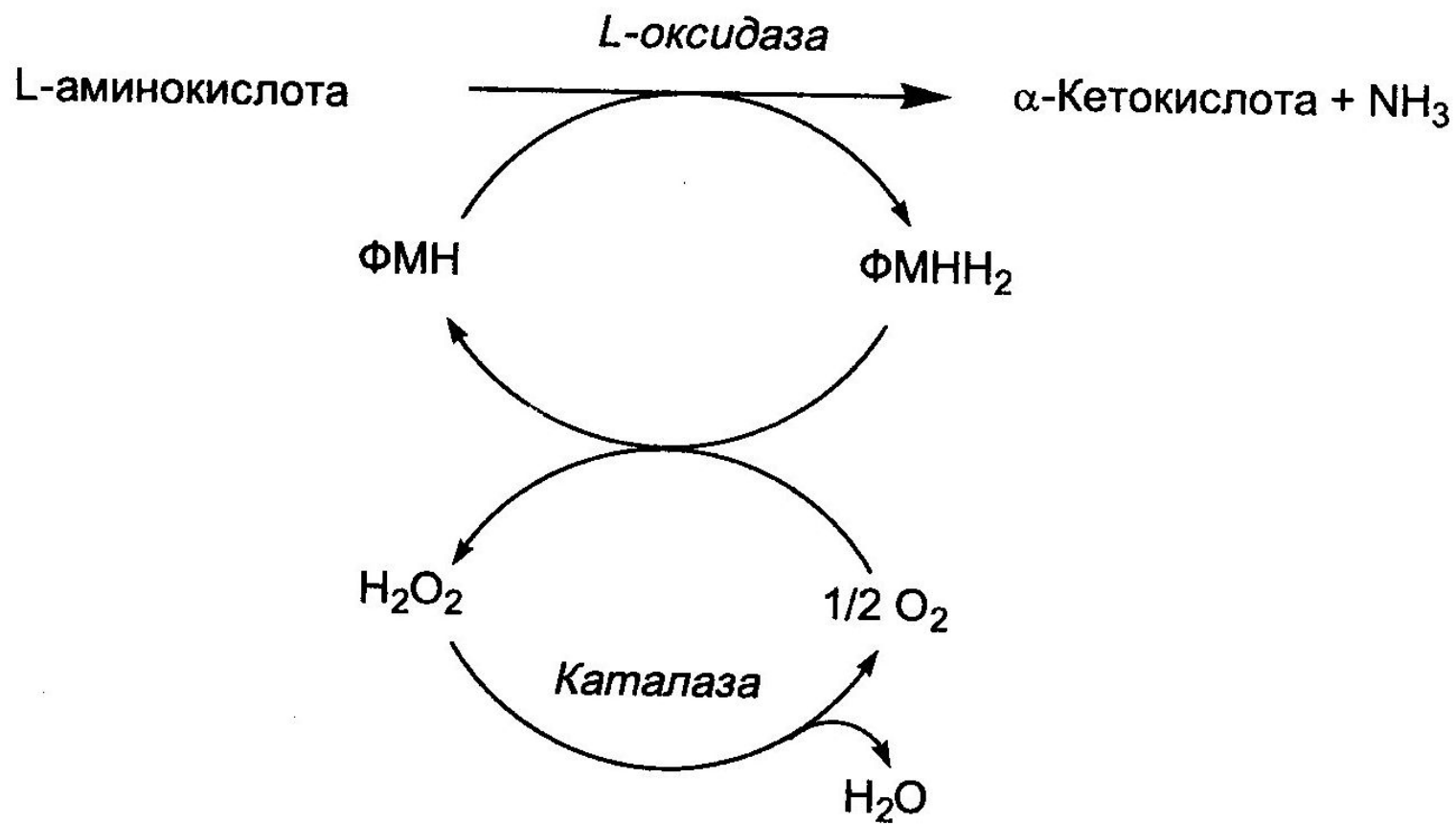
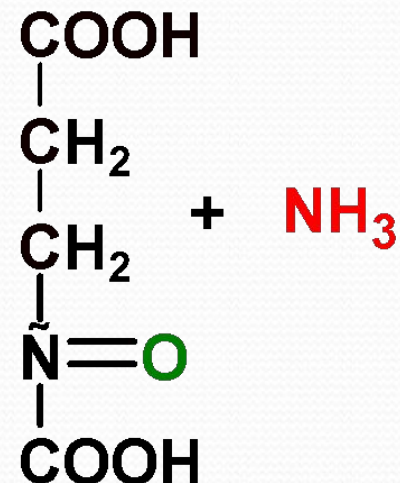
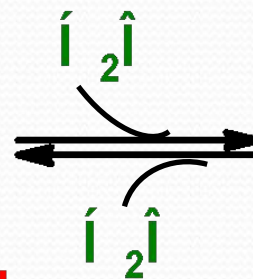
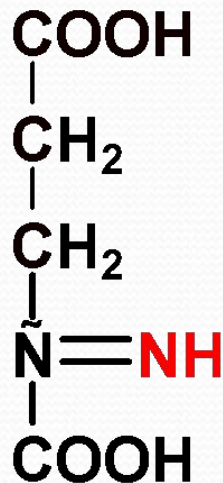
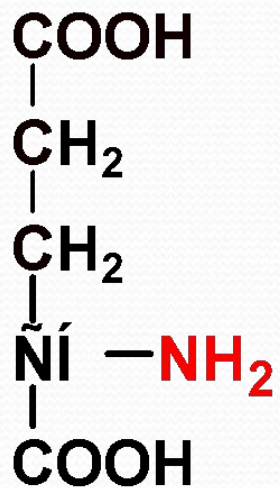


Рис. 20.10. Оксидаза L-аминокислот.

# Окислительное дезаминирование глутамата



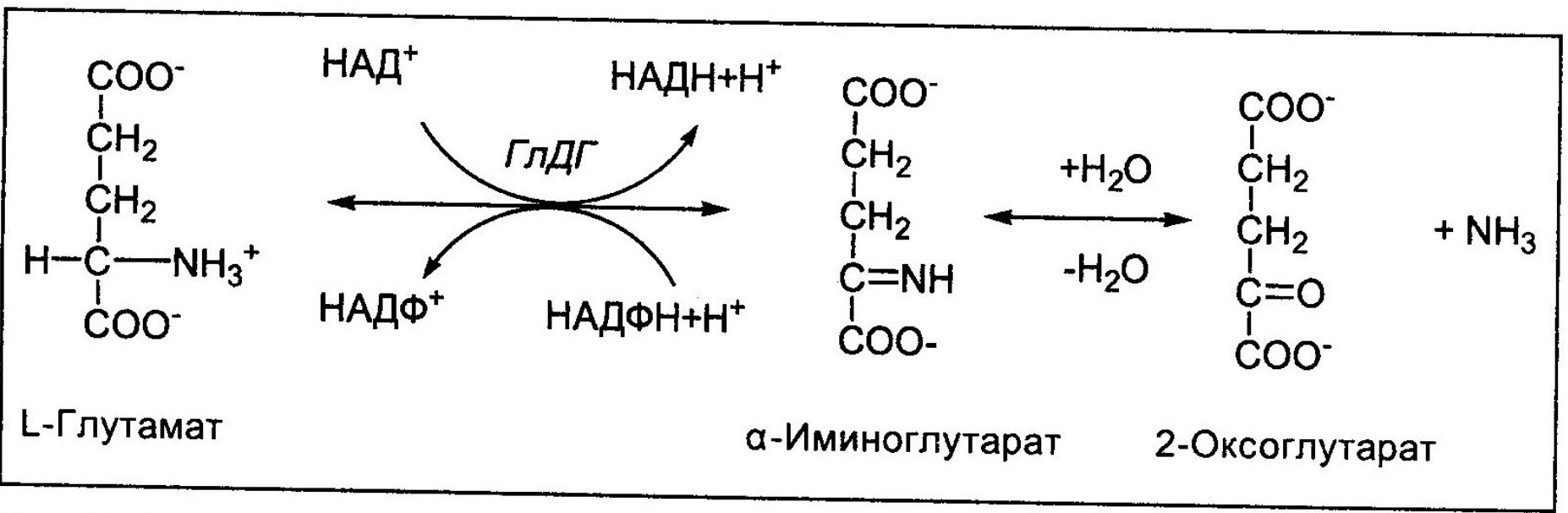
ãëóò àì àò

α-èì èí î ãëóòäò

α-éäöí ãëóòäò

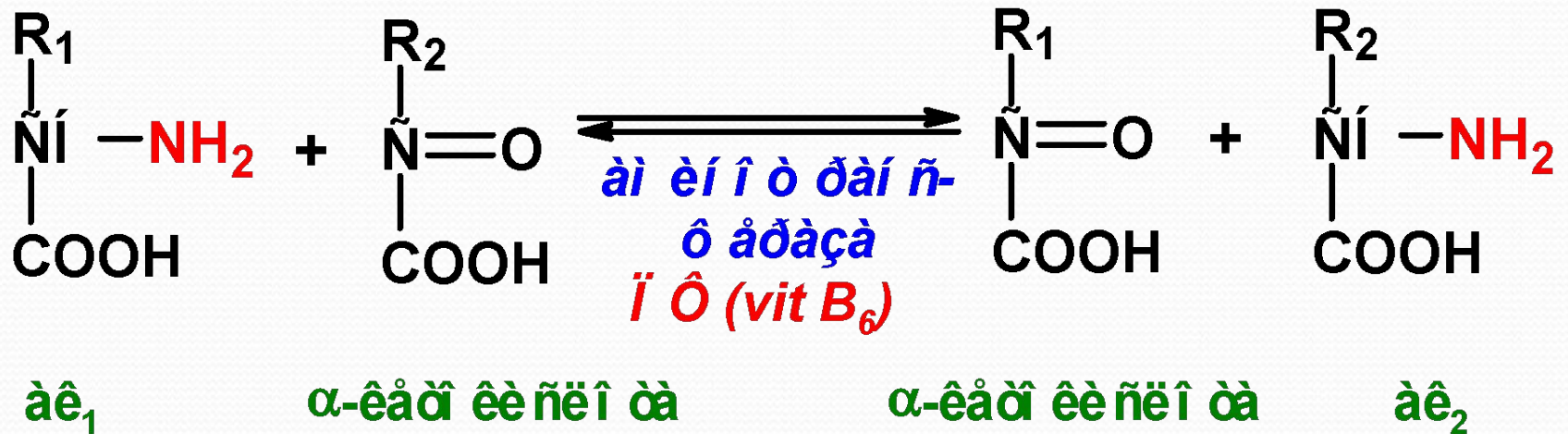






**Рис. 20.11.** Окислительное дезаминирование и восстановительное аминирование глутаминовой кислоты.

# Реакции трансаминирования



# Непрямое дезаминирование (трансдезаминирование) аминокислот

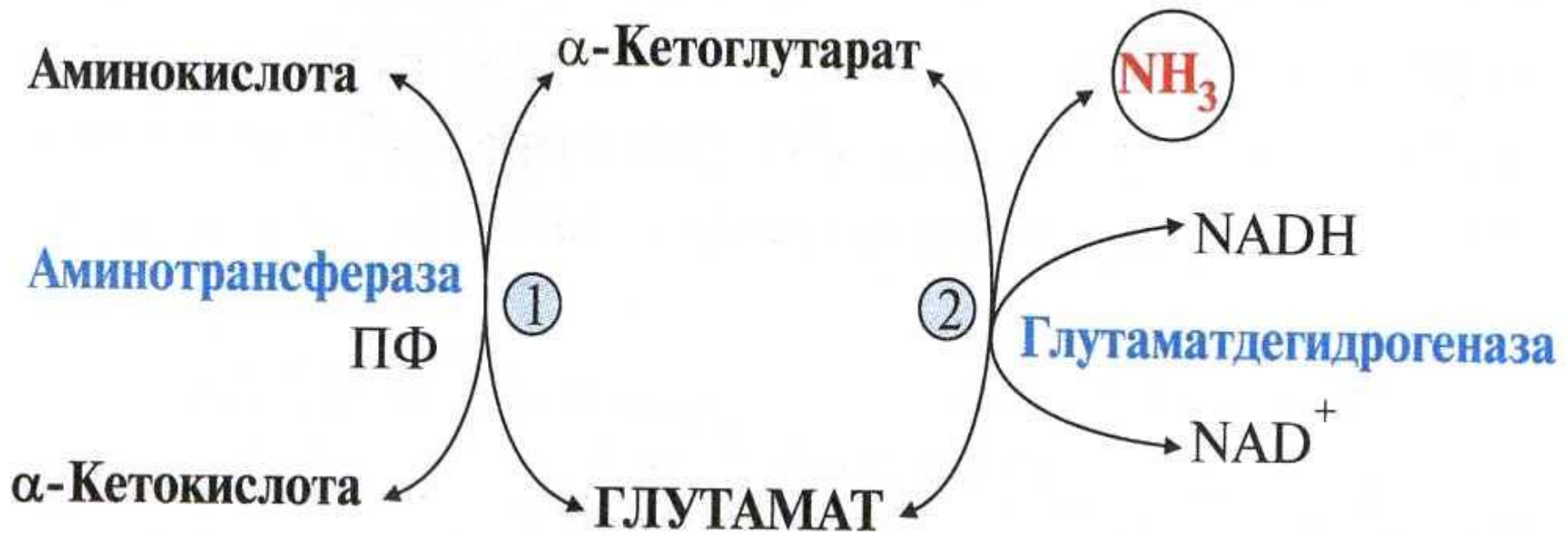
## 1. трансаминирование



## 2. дезаминирование глутамата



# Непрямое дезаминирование аминокислот



# Обмен отдельных аминокислот

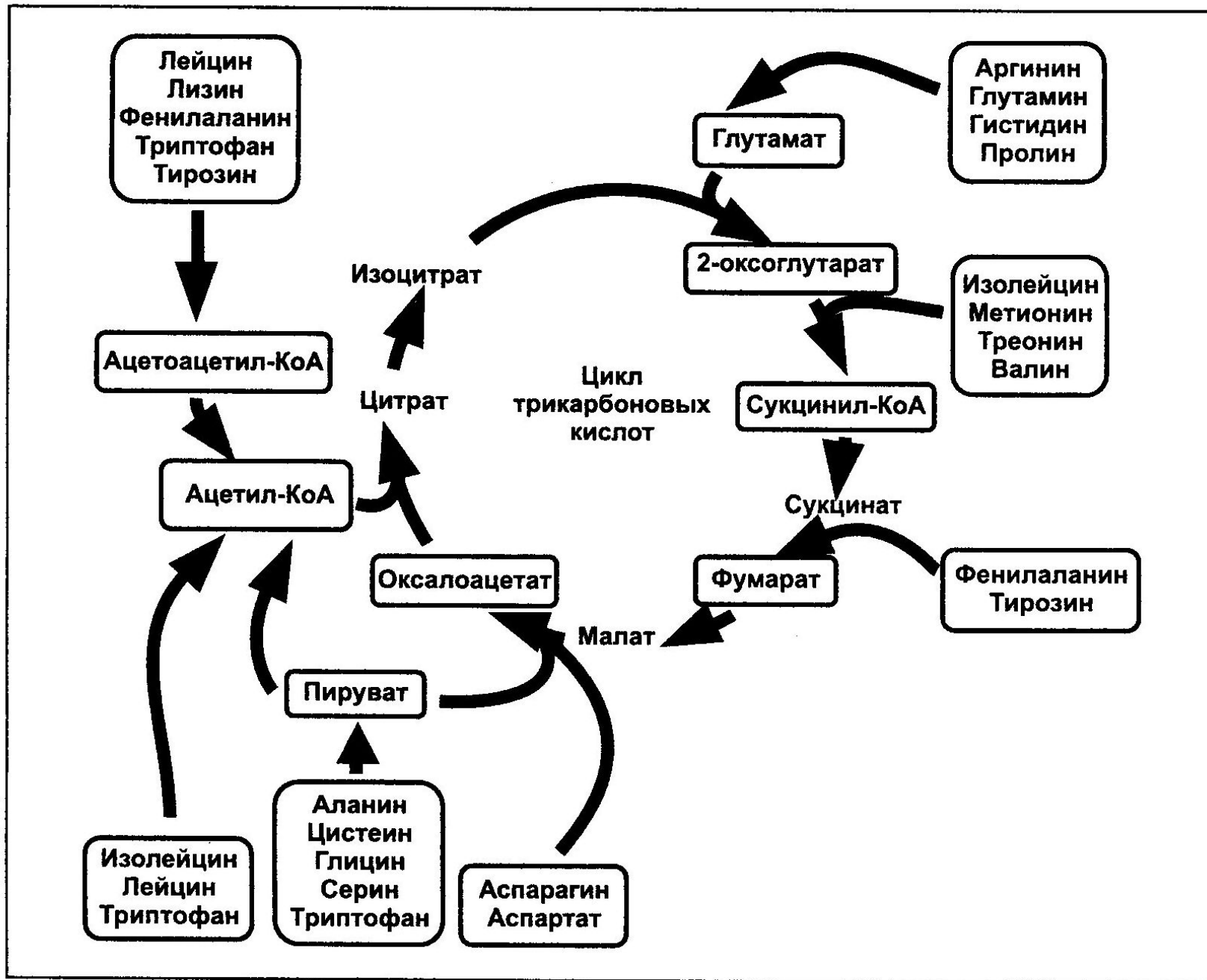
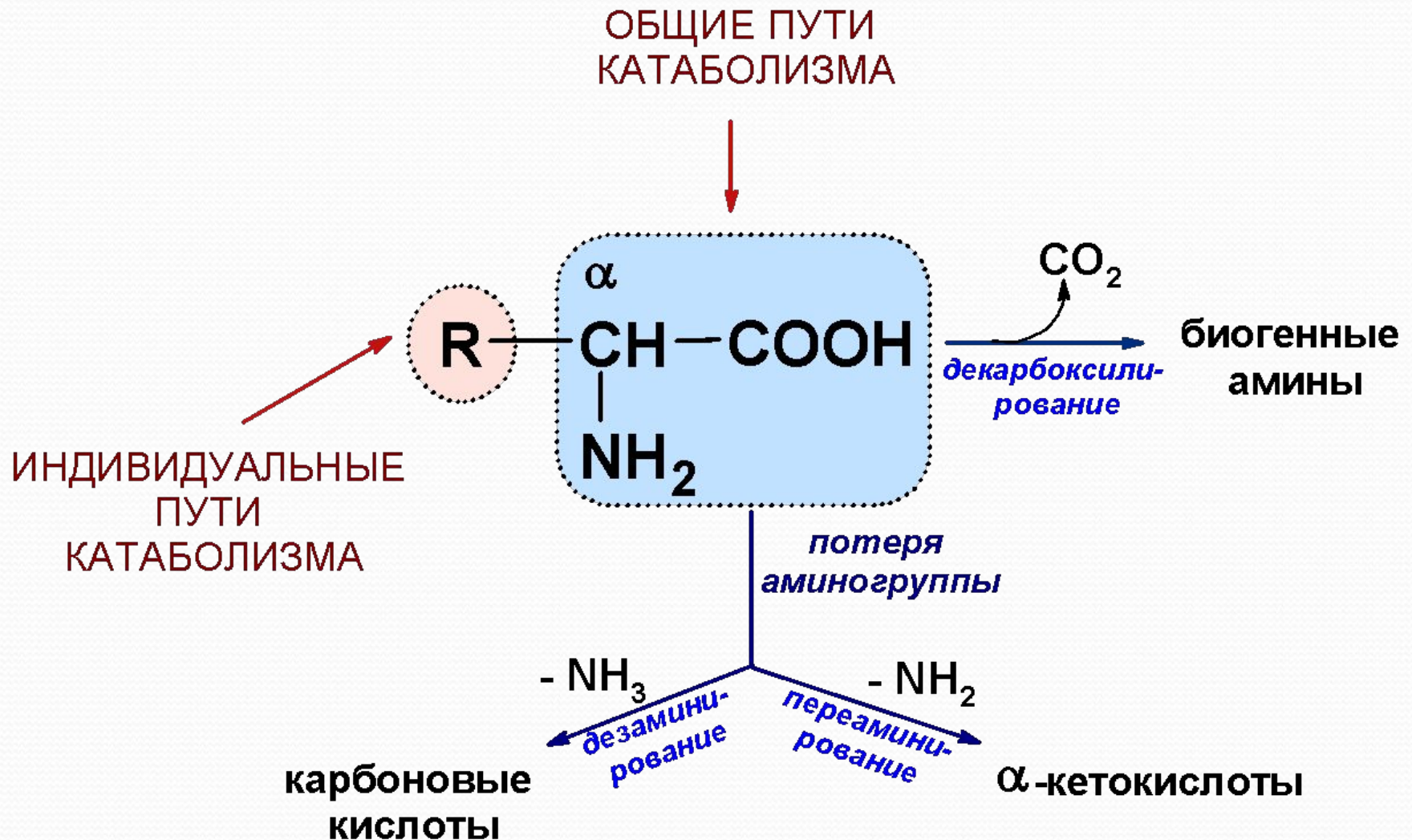
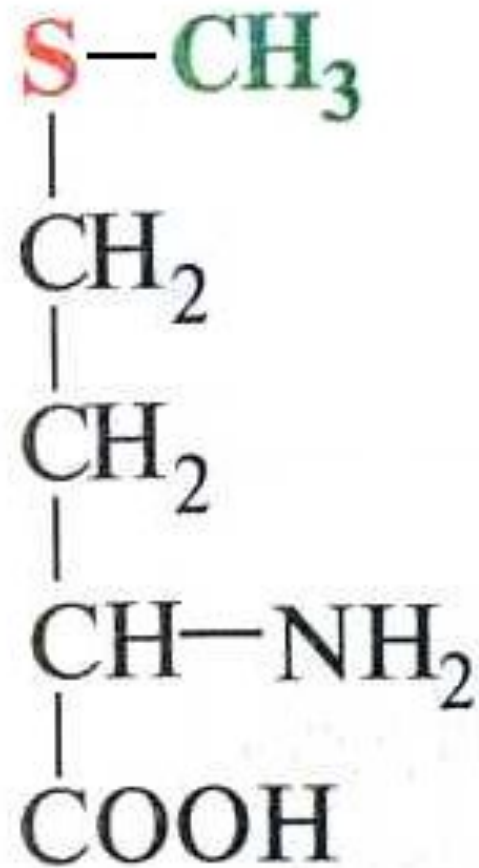


Рис. 22.1. Аминокислоты и общий путь катаболизма

# Катаболизм аминокислот



# Метионин

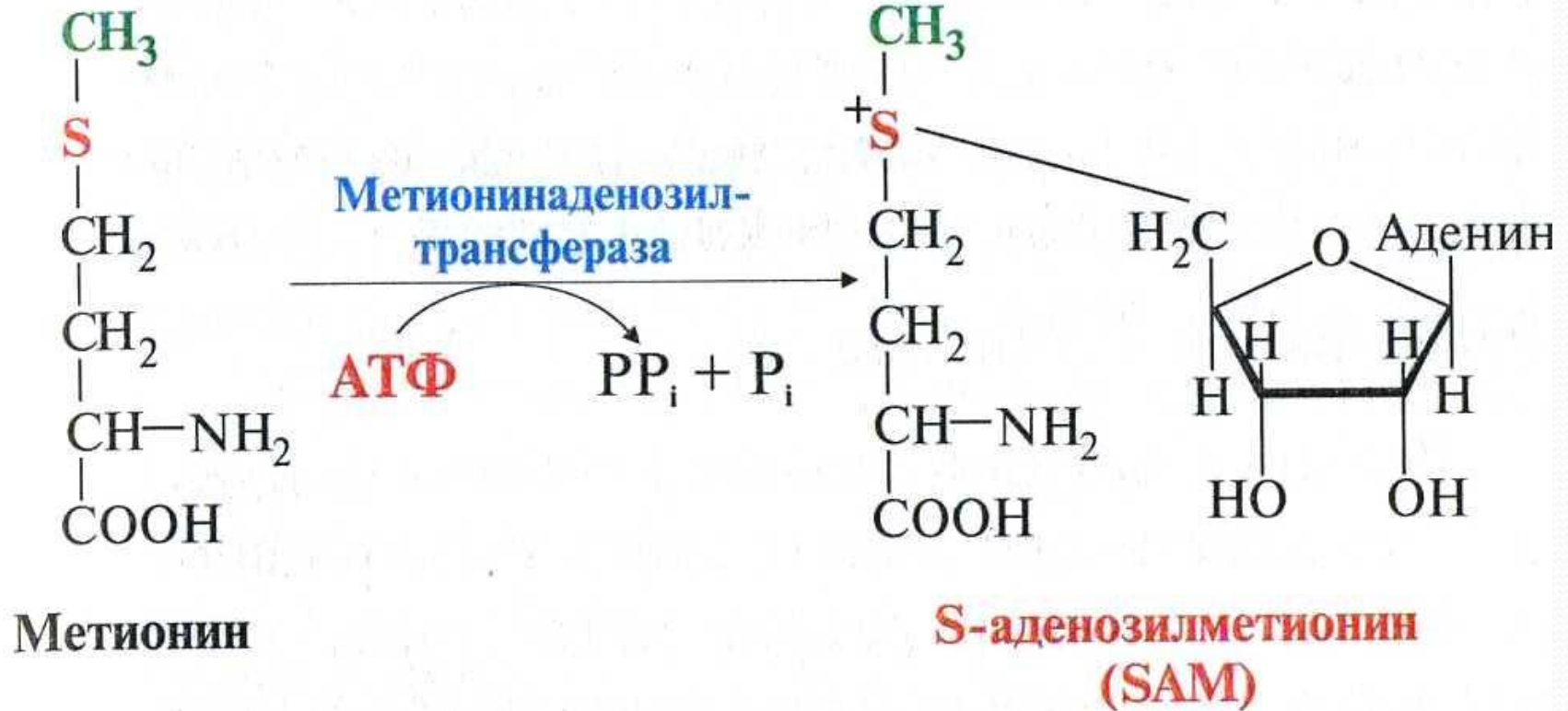




# Обмен метионина



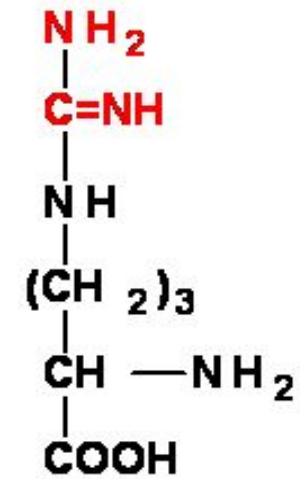
# S-аденозилметионин (SAM)



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ $\text{CH}_3$ -РАДИКАЛОВ

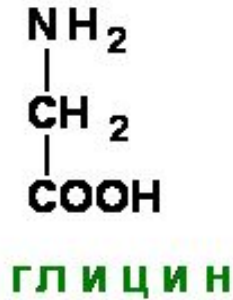


# Синтез креатина



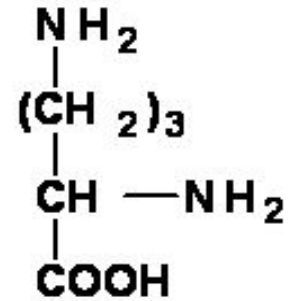
аргинин

+



гуанидин-  
ацетат

+

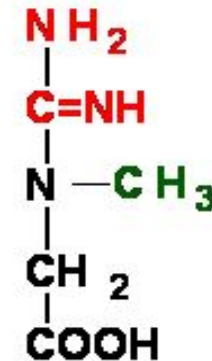


орнитин

SAM

SAG

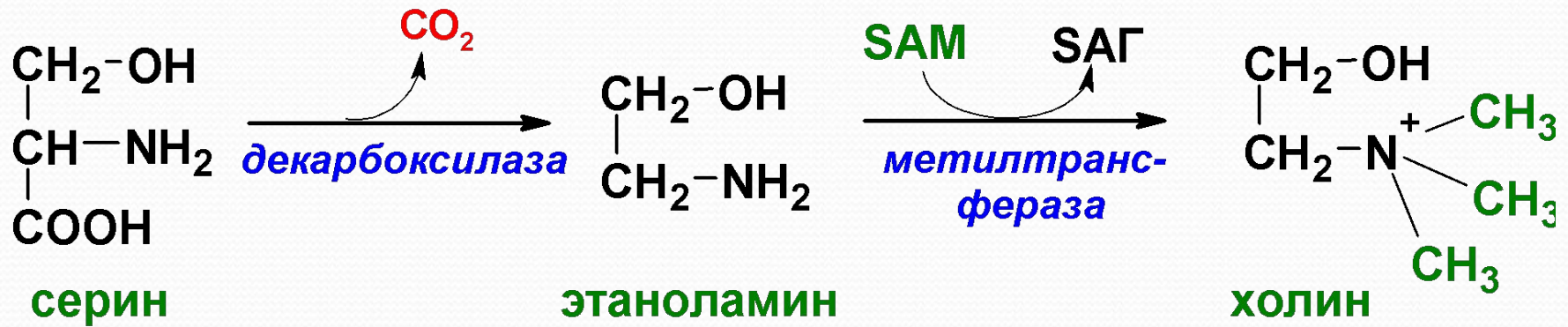
метилтранс-  
фераза



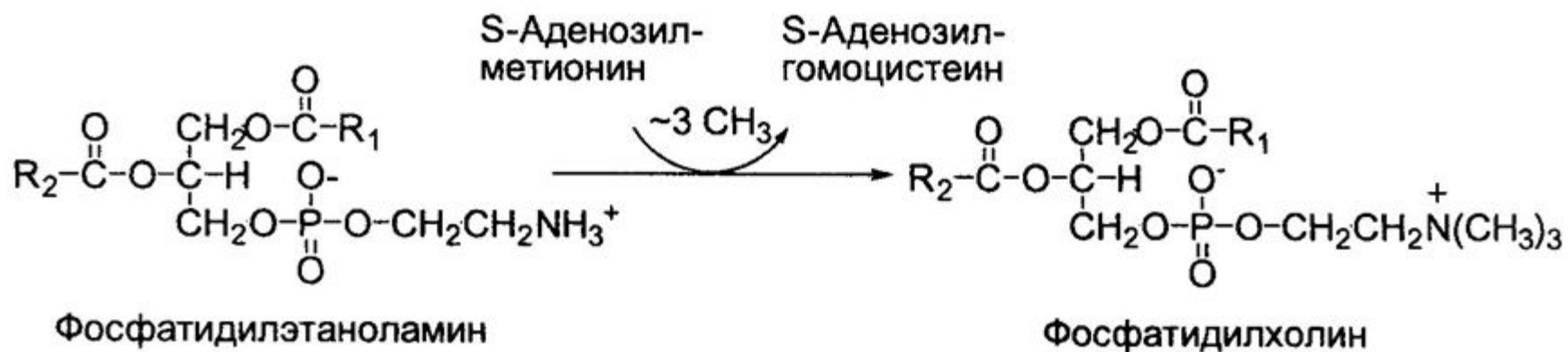
креатин



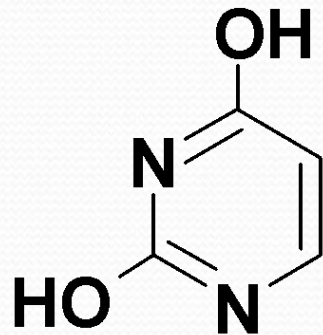
# Синтез холина



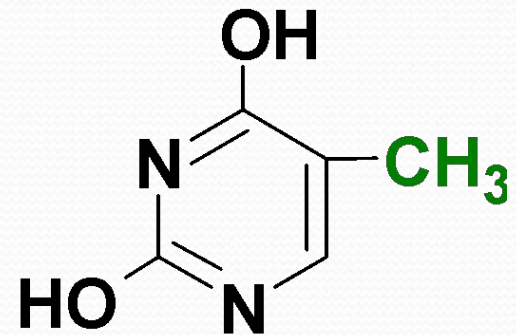
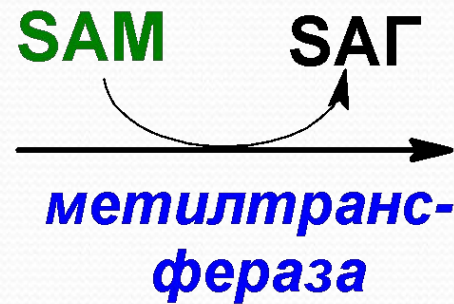
# Синтез фосфотидилхолина



# Синтез тимина



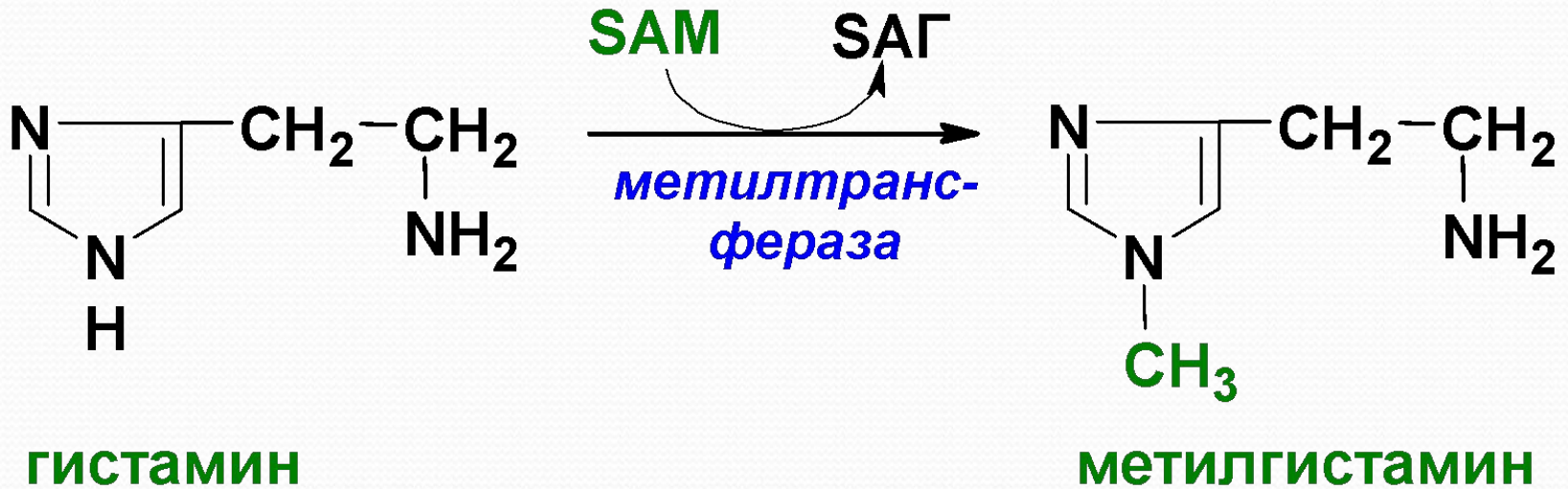
урацил



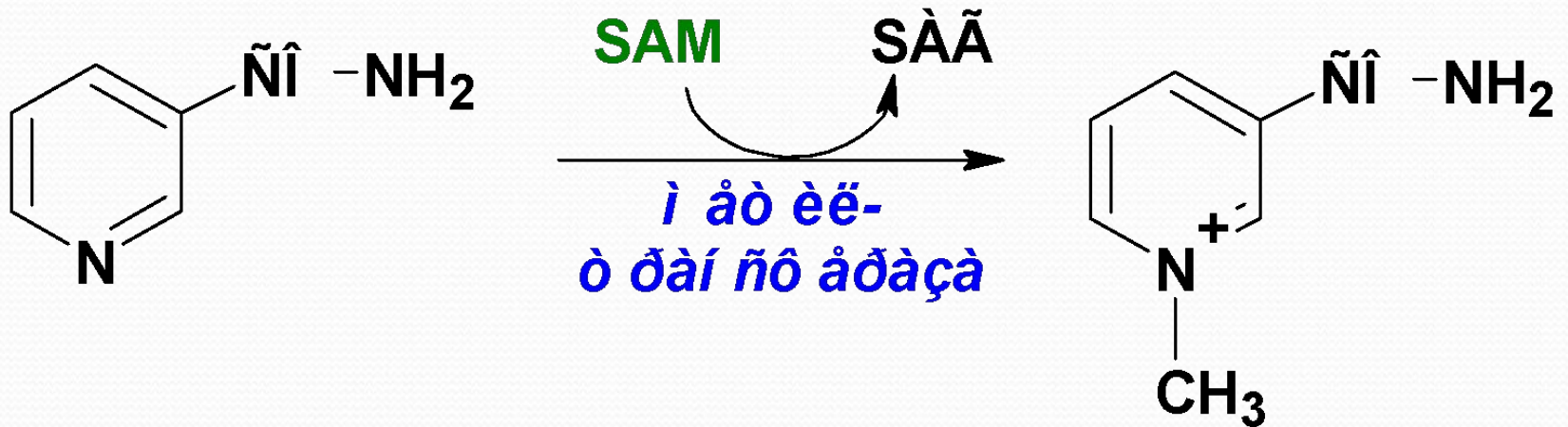
ТИМИН



# Инактивация гистамина



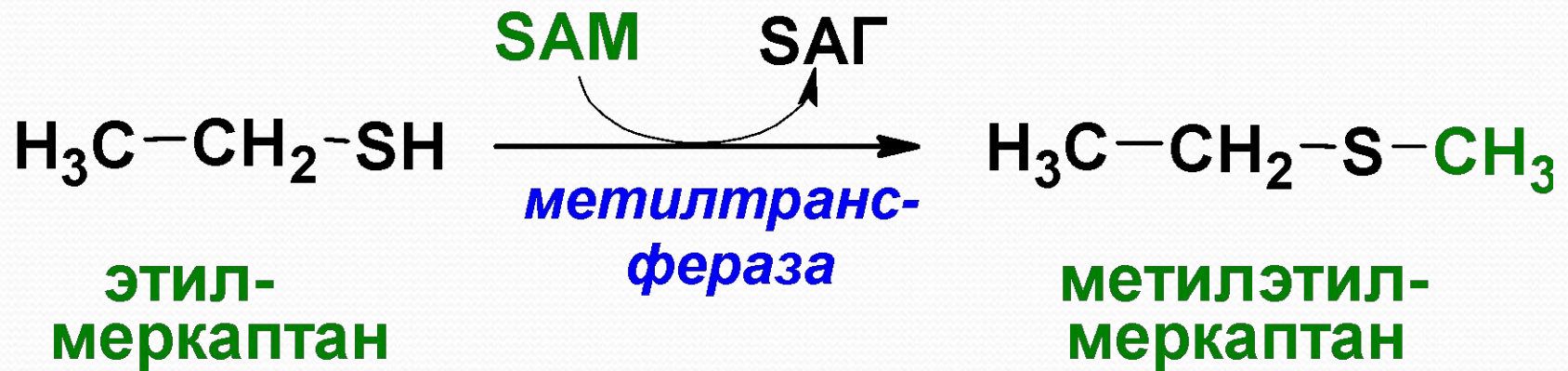
# Обезвреживание никотинамида



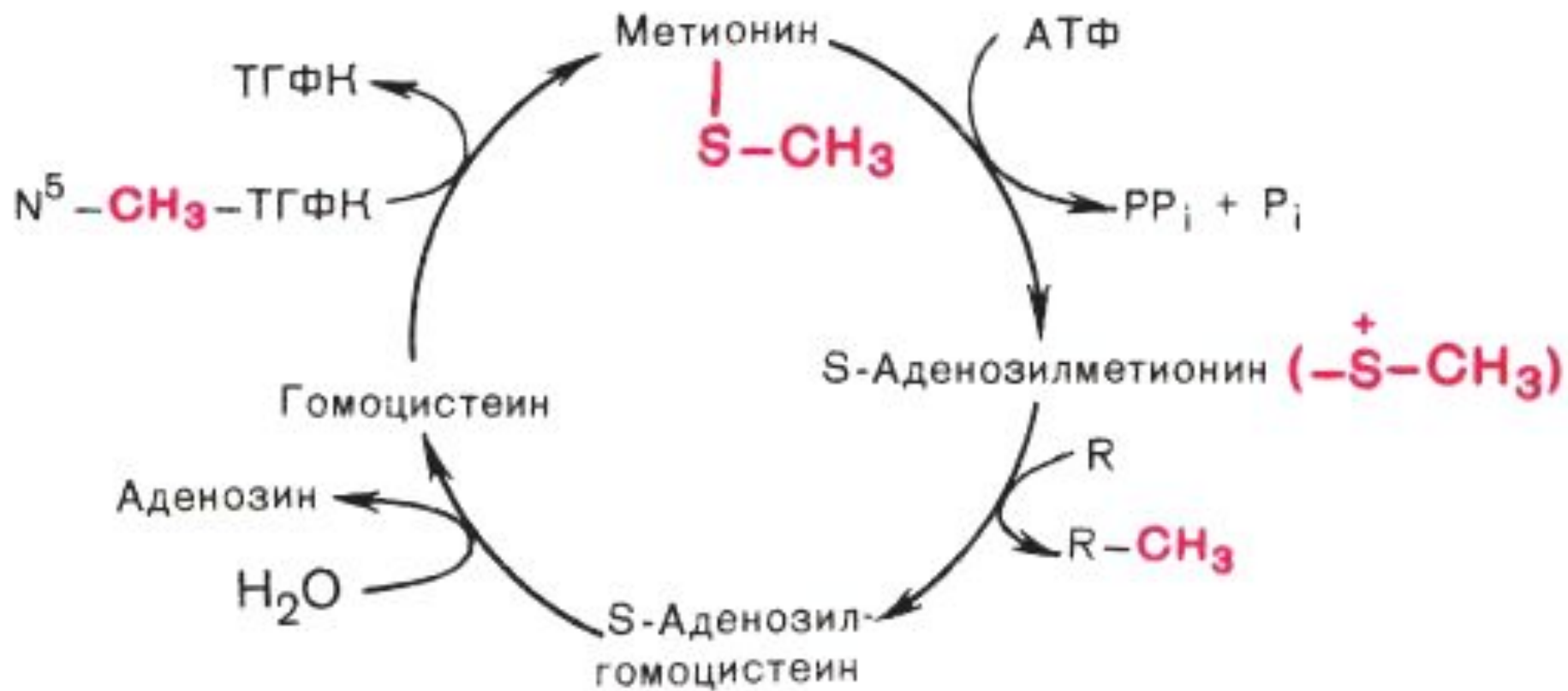
í èêî òèí -  
àì èä

ì àòèëí èêî òèí -  
àì èä

# Обезвреживание ксенобиотиков



# Превращения S-аденозилметионина



# Синтез цистеина



# Обмен цистеина



# Тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК - $N_4$ -фолат)

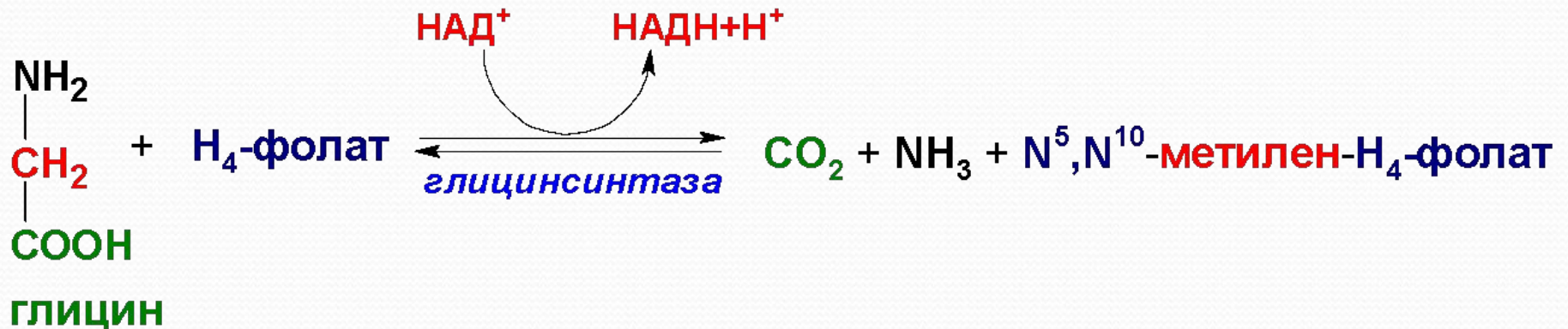
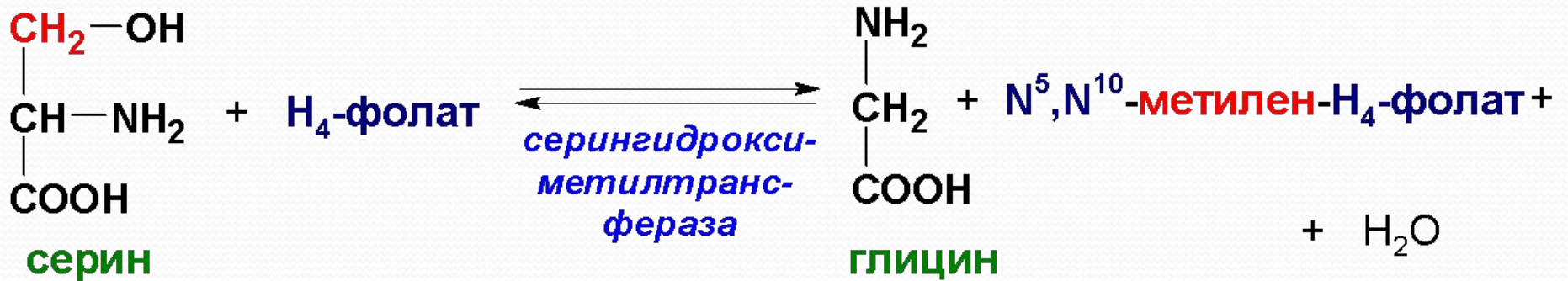


# Одноуглеродные радикалы

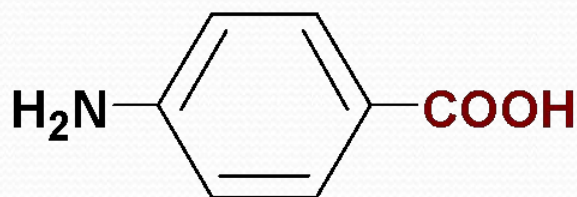




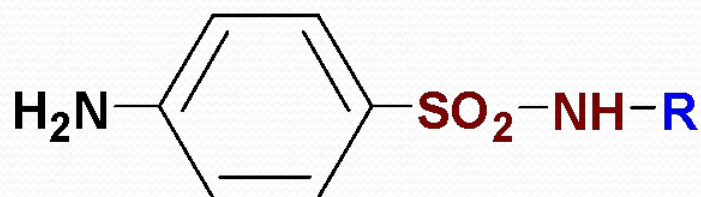
# Доноры одноуглеродных групп



# Антивитамины фолиевой кислоты



п-аминобензойная кислота

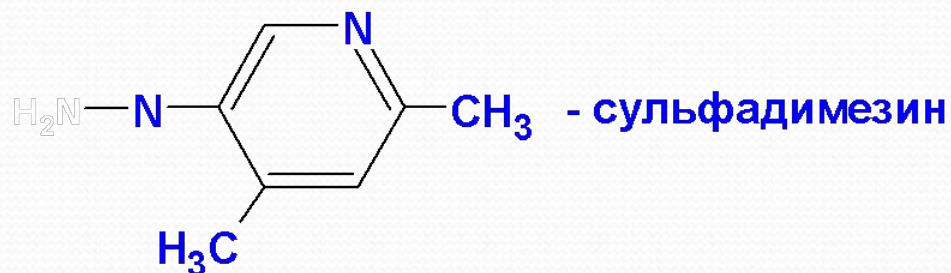


общая формула сульфаниламидов

где R:

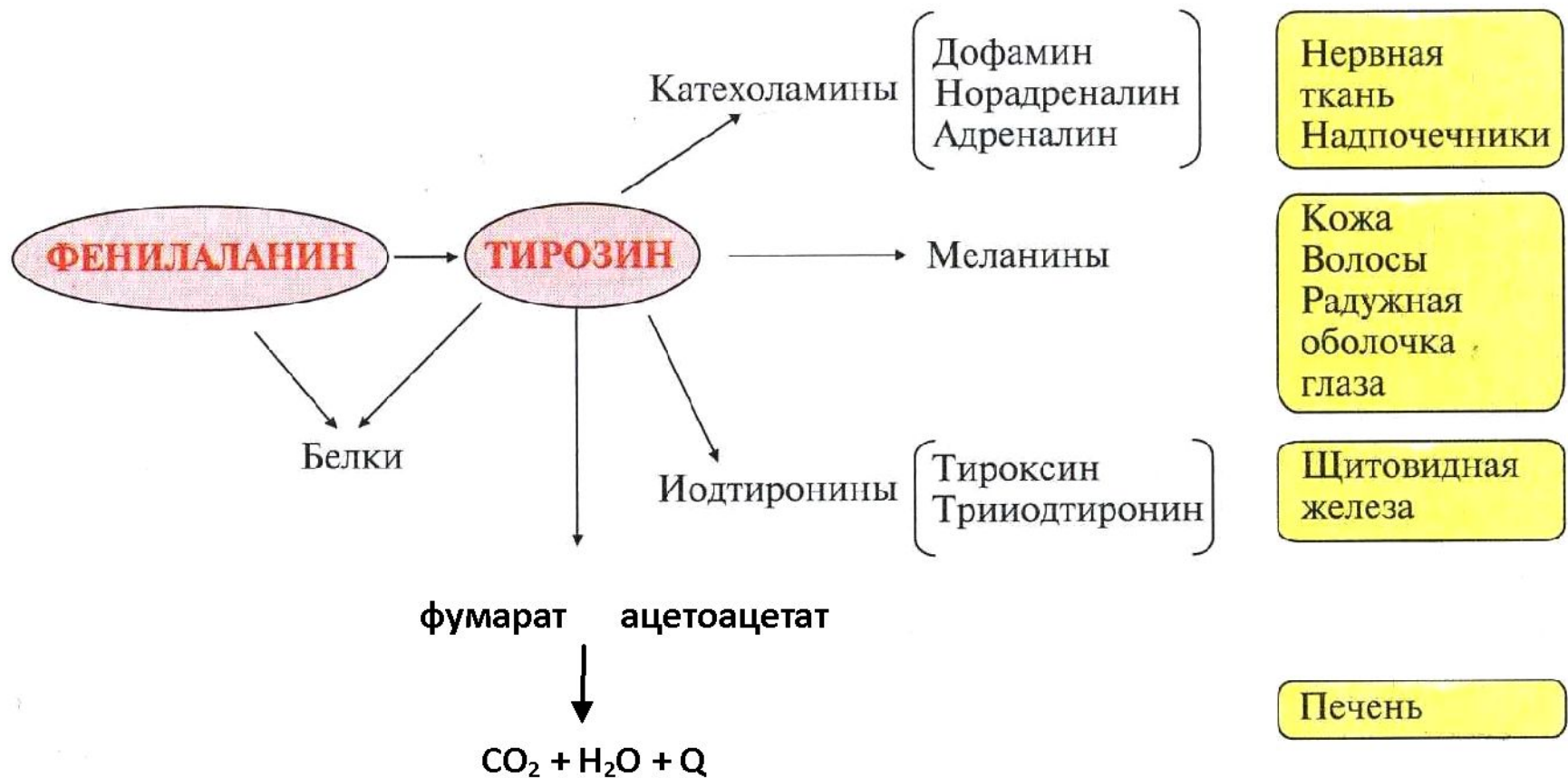
— H - стрептоцид

—COCH<sub>3</sub> - сульфацил-натрий (альбуцид)

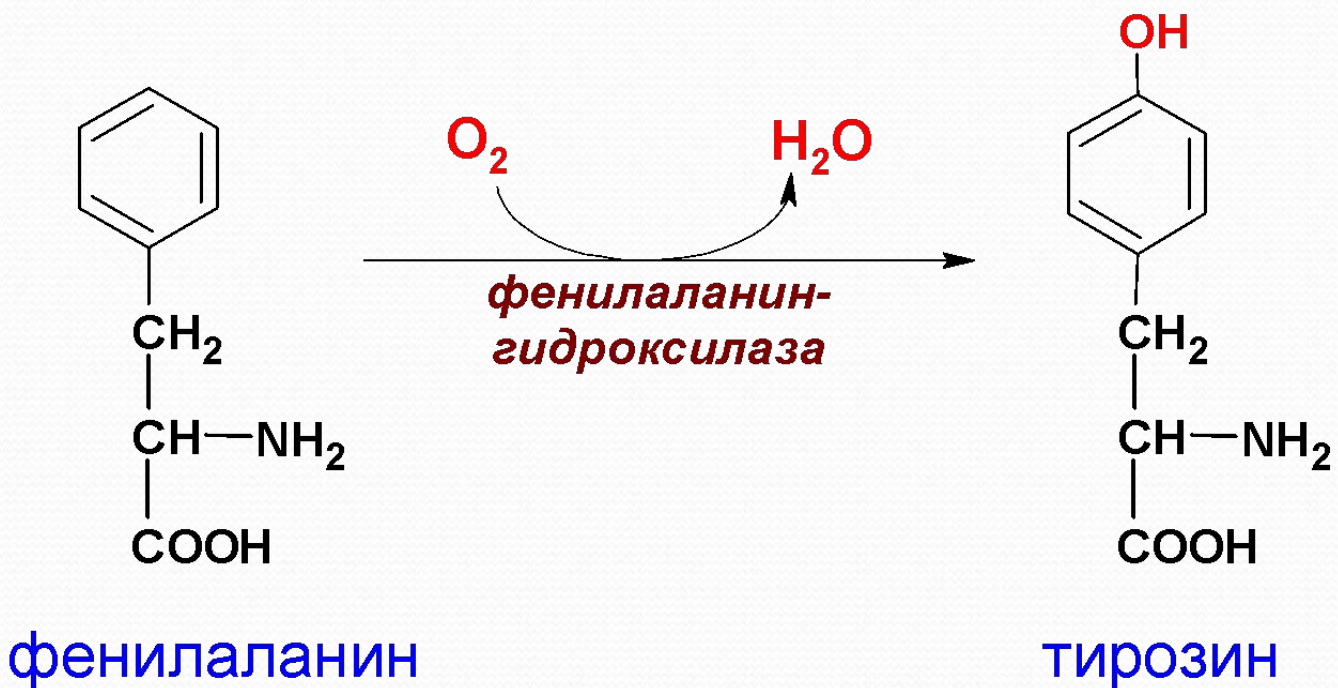


- сульфадимезин

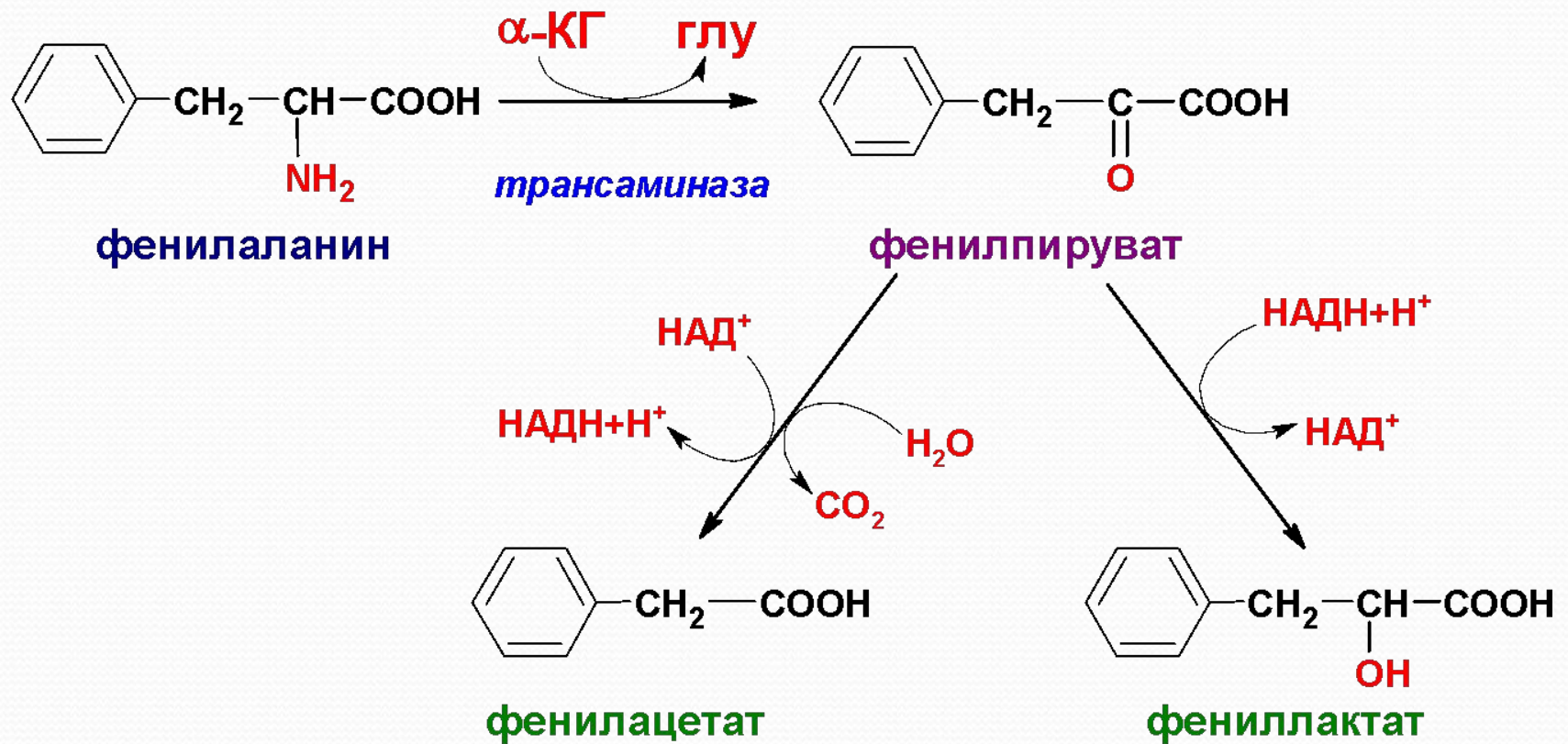
# Обмен ароматических аминокислот



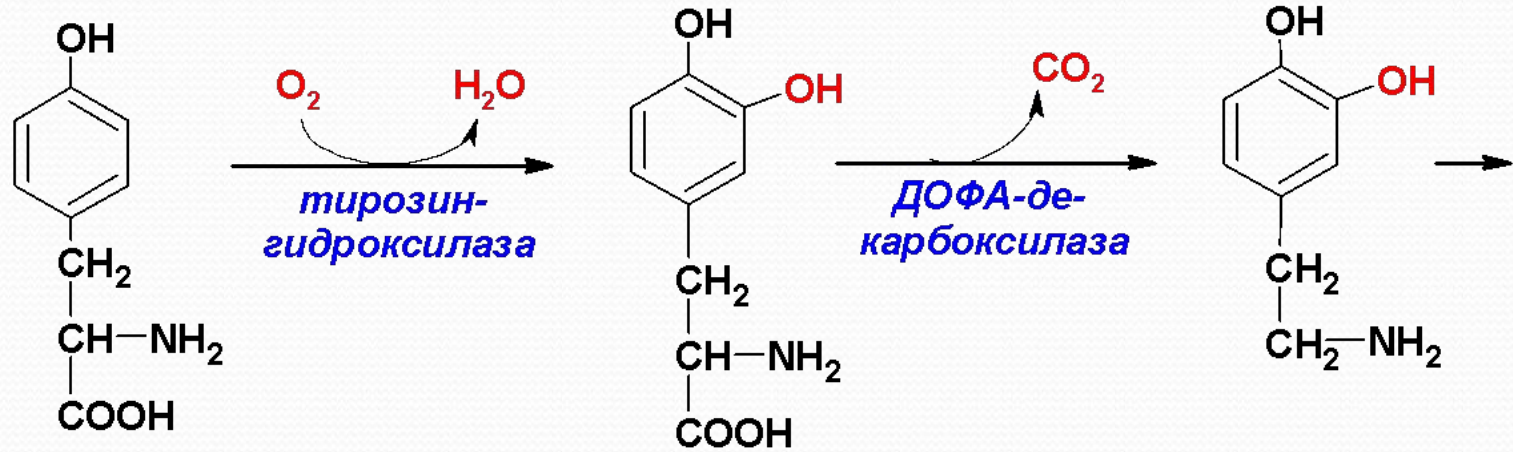
# Синтез тирозина



# Нарушения обмена фенилаланина



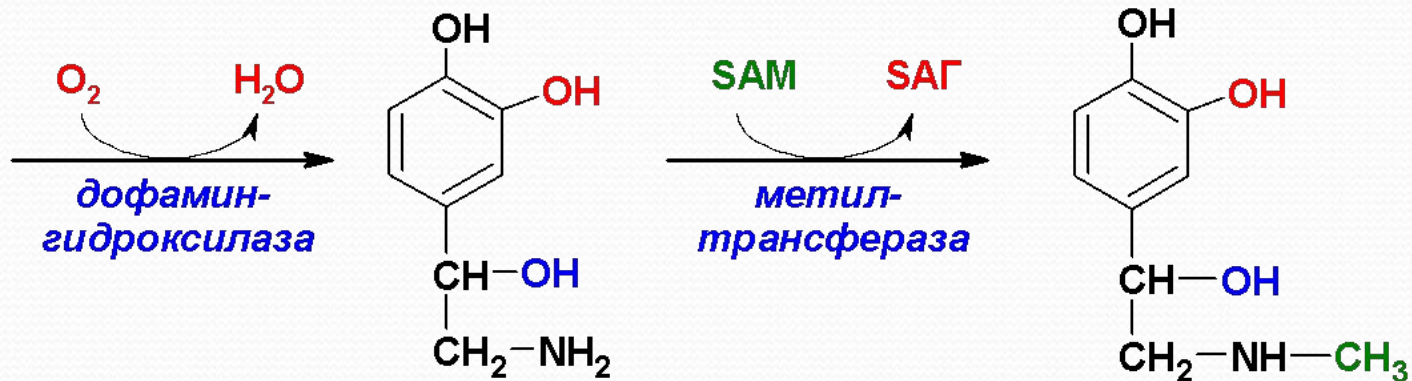
# Синтез катехоламинов



тирозин

ДОФА

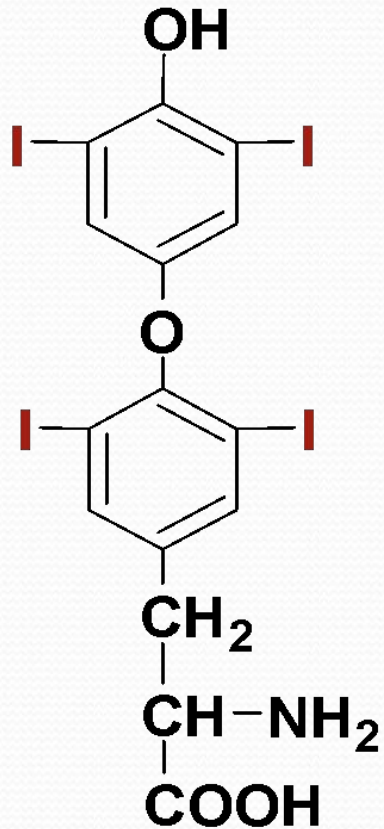
дофамин



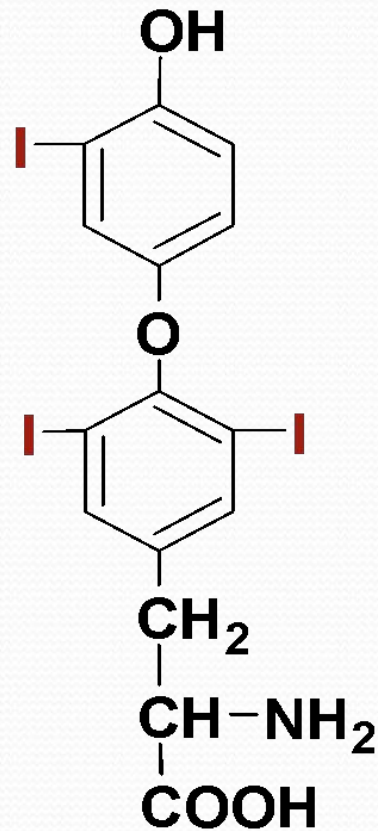
норадреналин

адреналин

# Йодтиронины

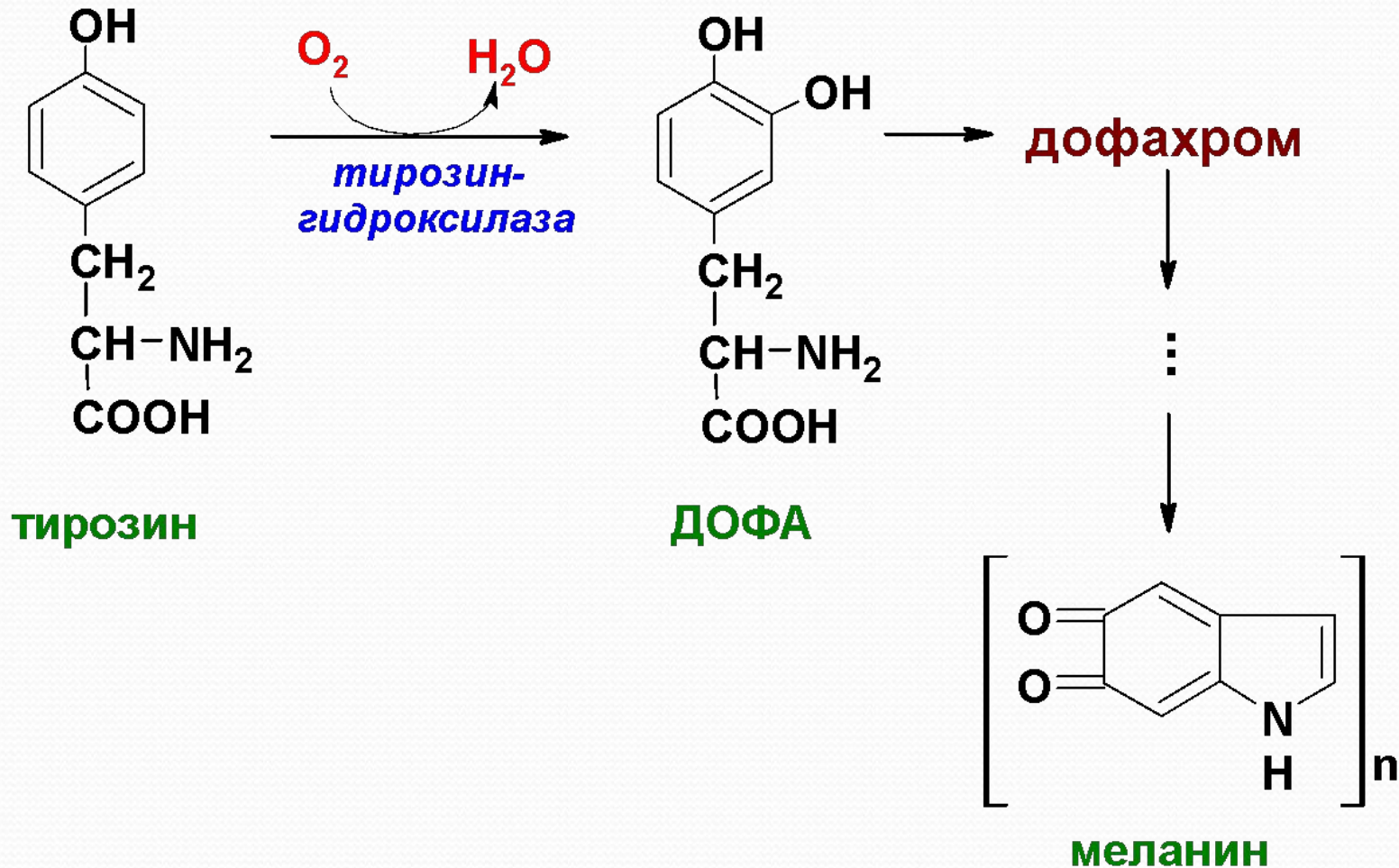


тироксин  
(тетрайодтиронин)



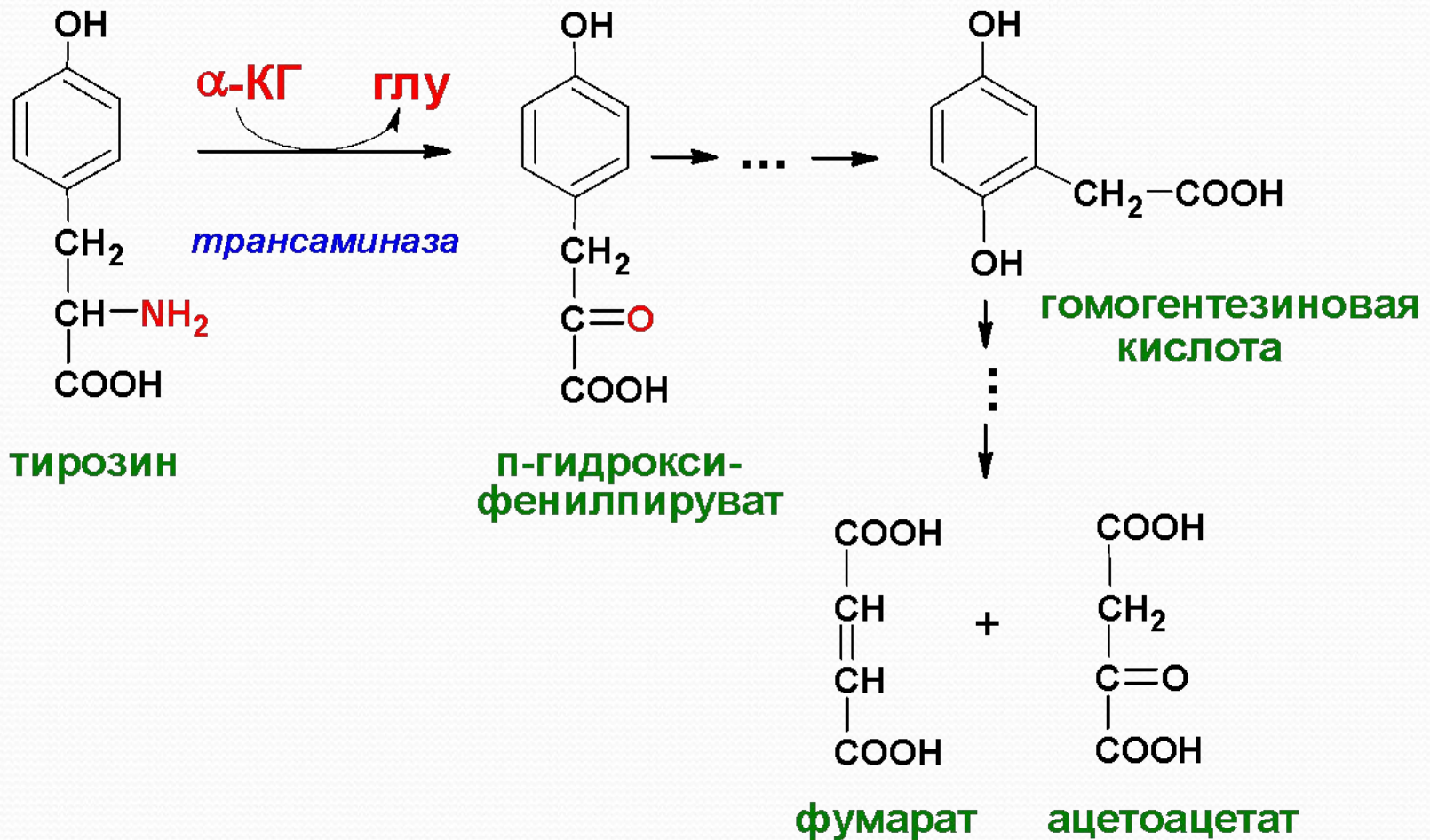
трийодтиронин

# Синтез меланина

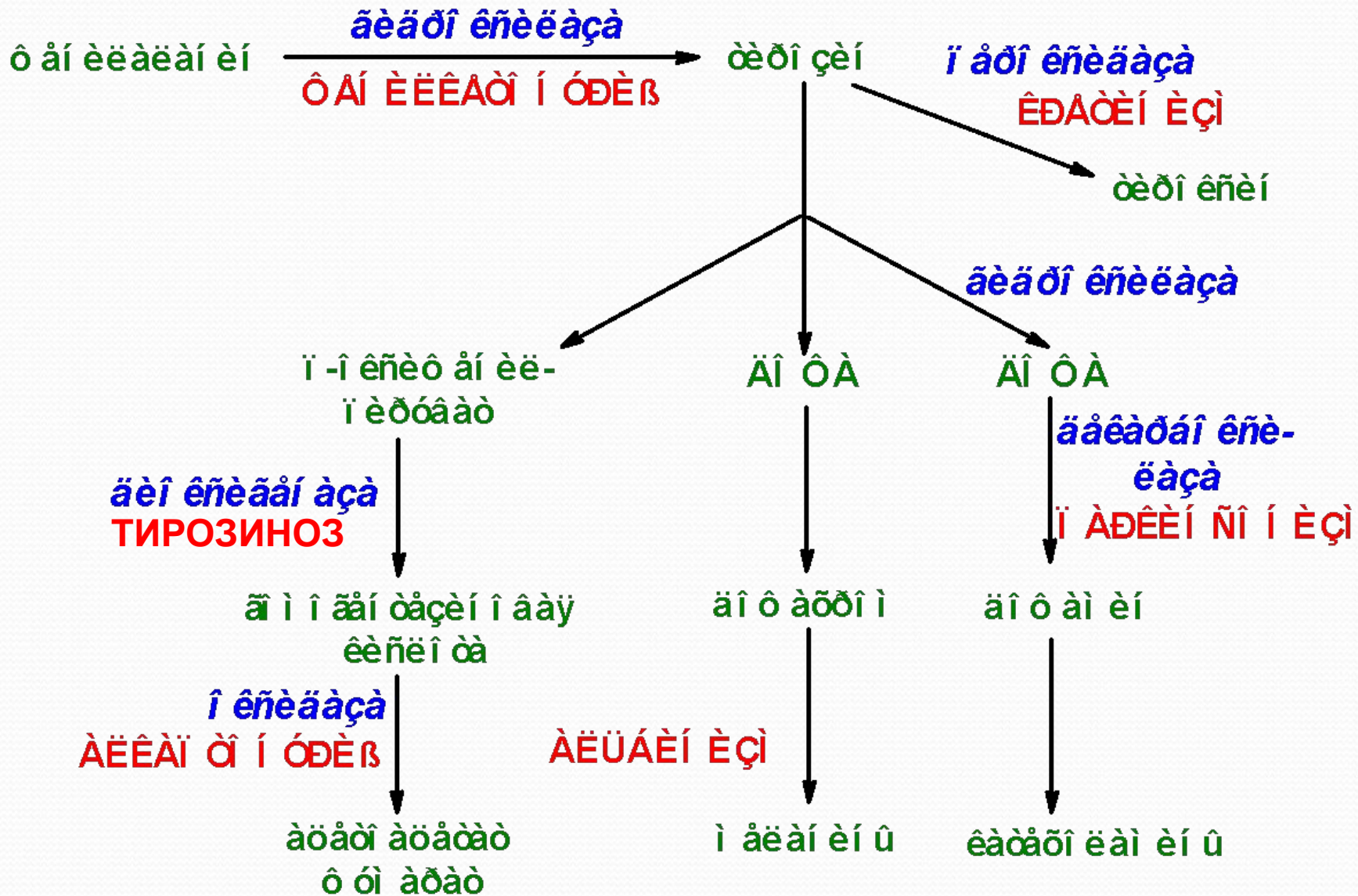




# Распад тирозина



# НАРУШЕНИЯ ОБМЕНА АРОМАТИЧЕСКИХ АМИНОКИСЛОТ



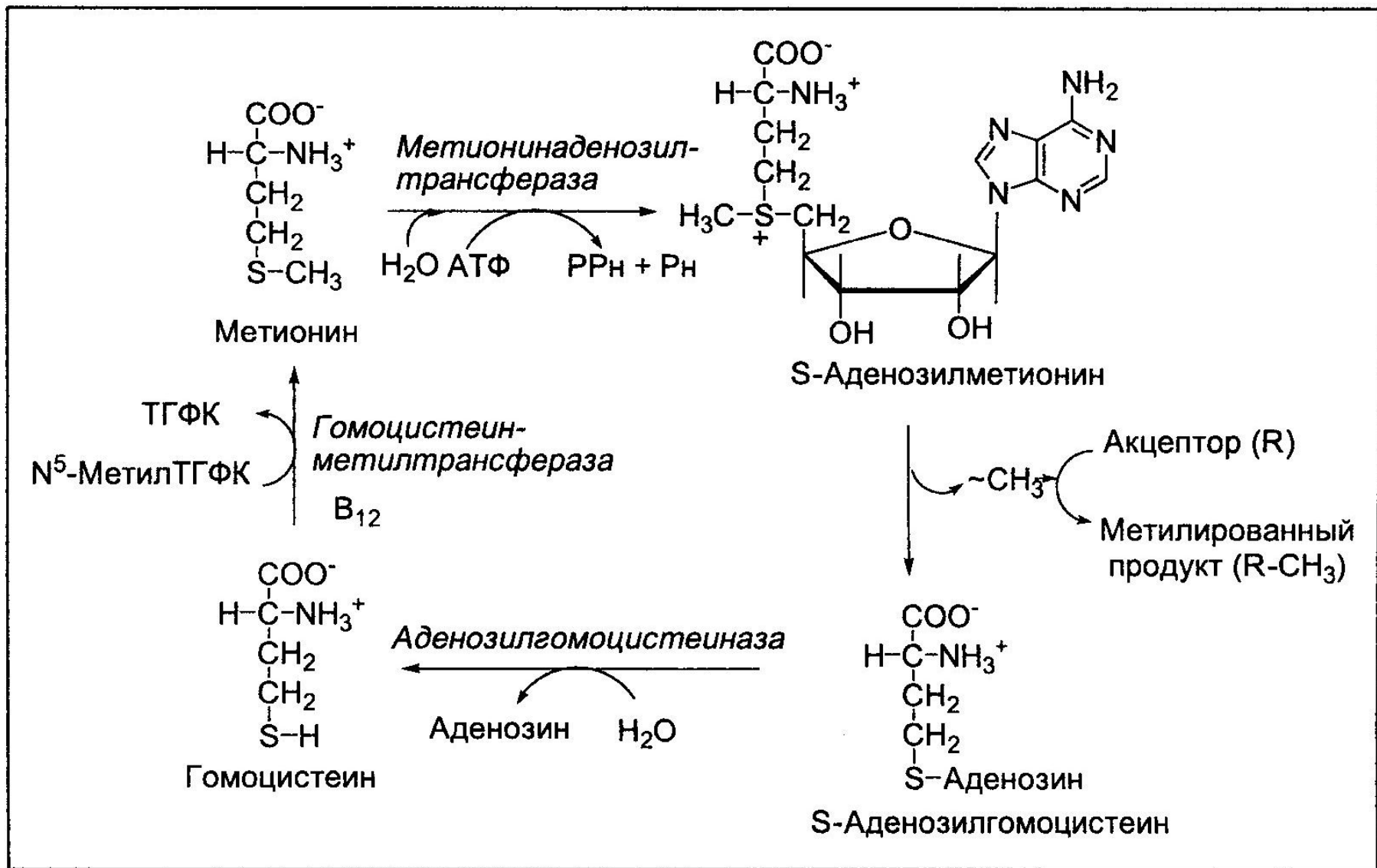


Рис. 22.2. Трансметилирование.

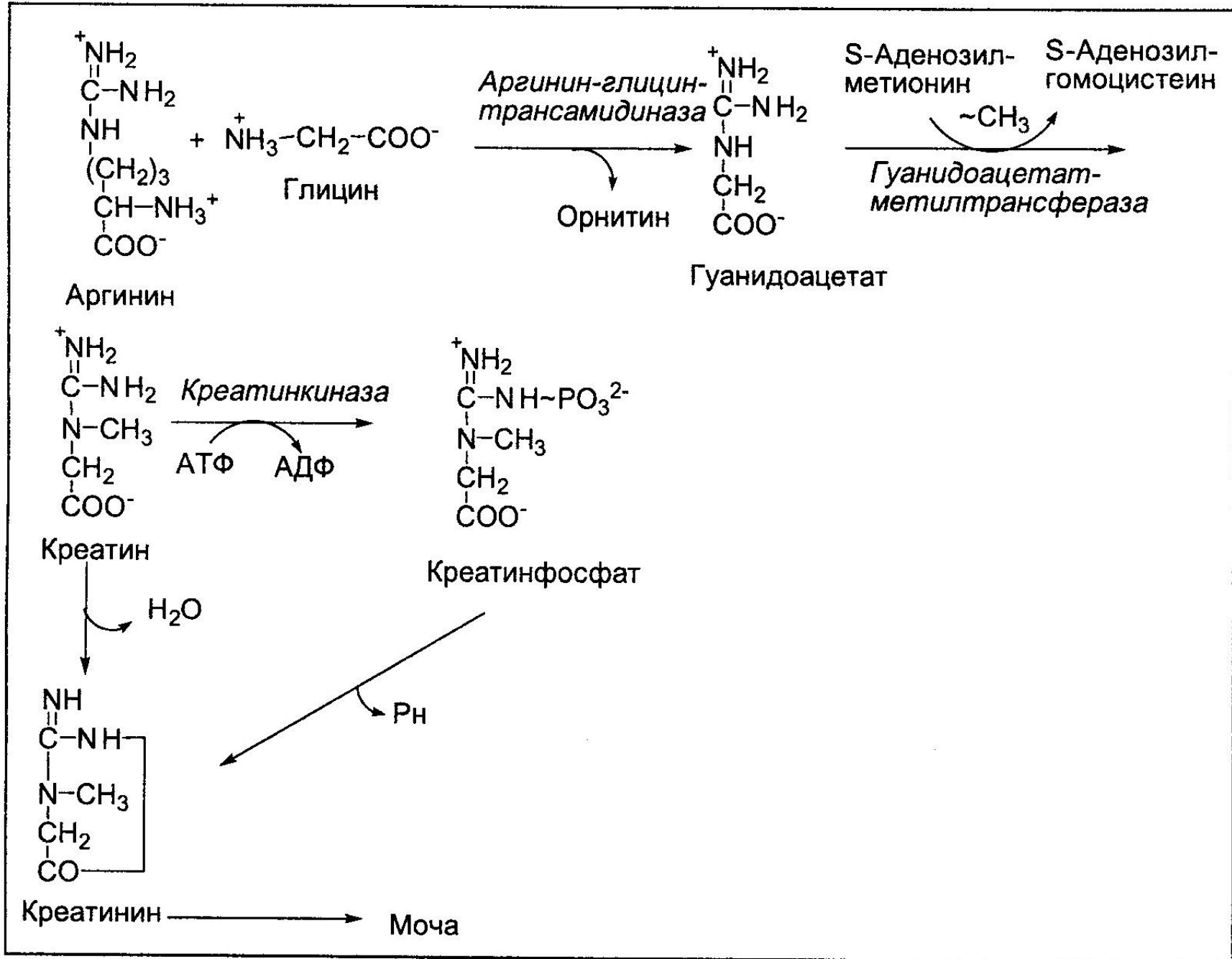
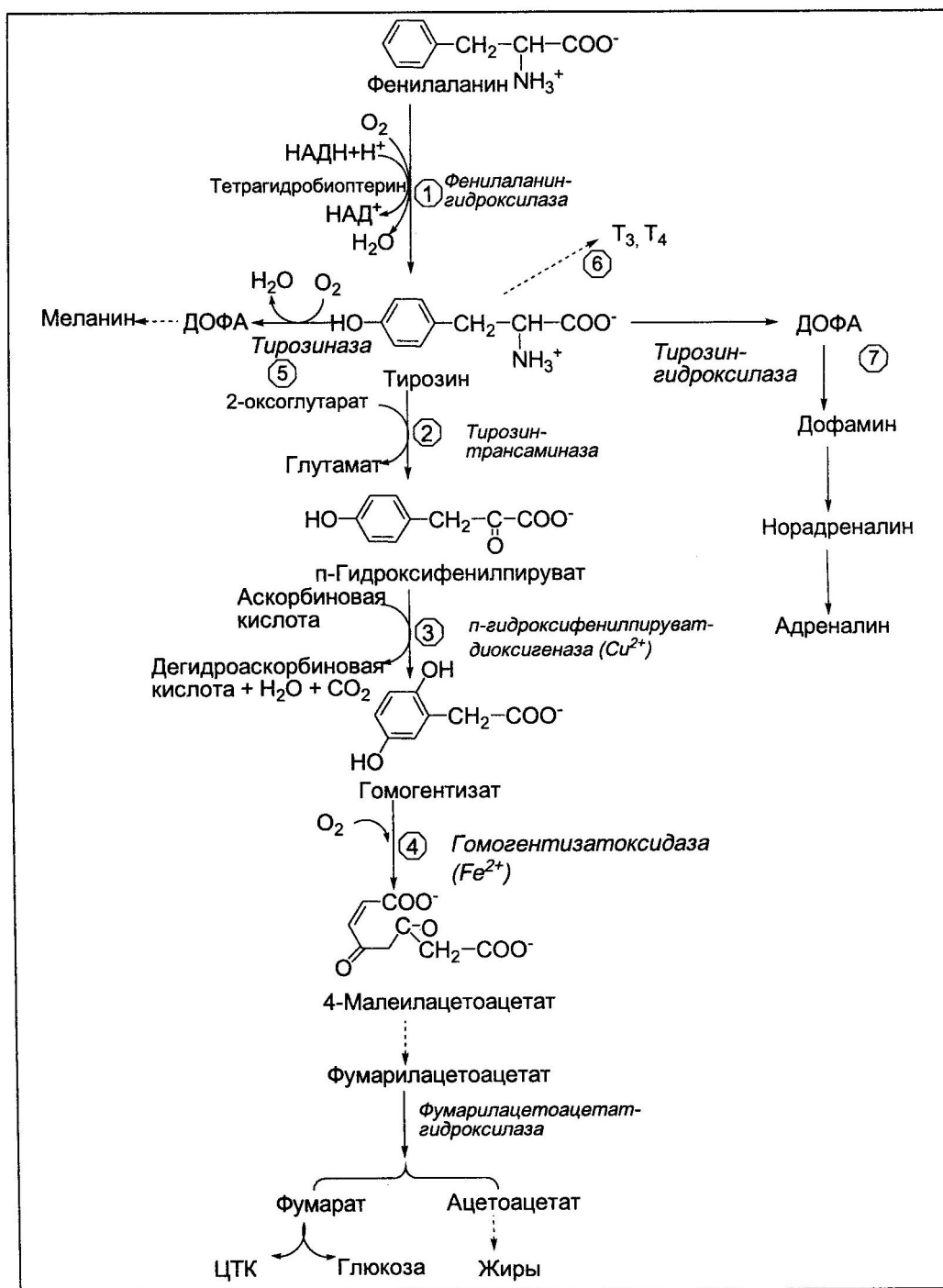


Рис. 22.3. Синтез креатина и креатинина.



## Метаболизм фенилаланина и тирозина

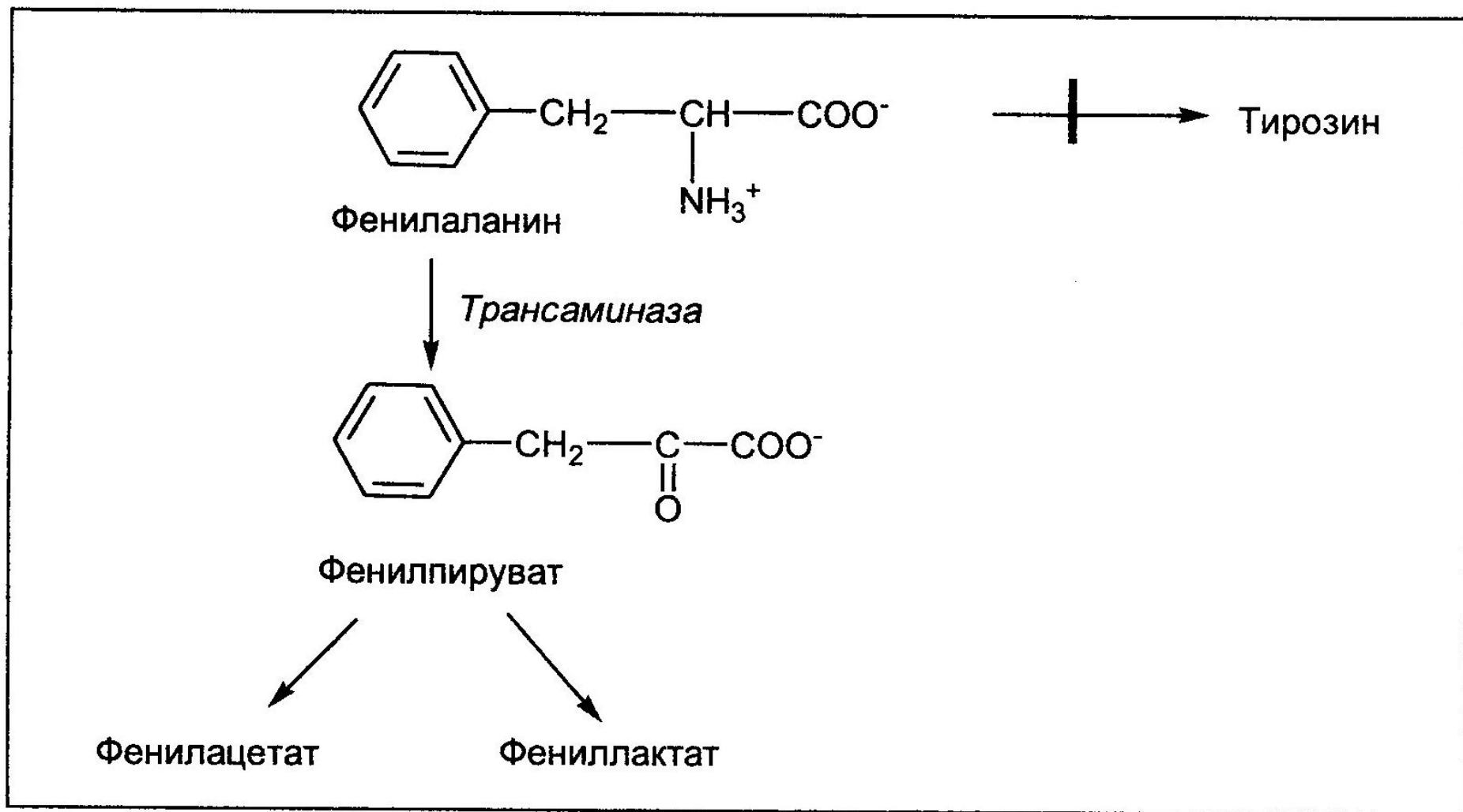
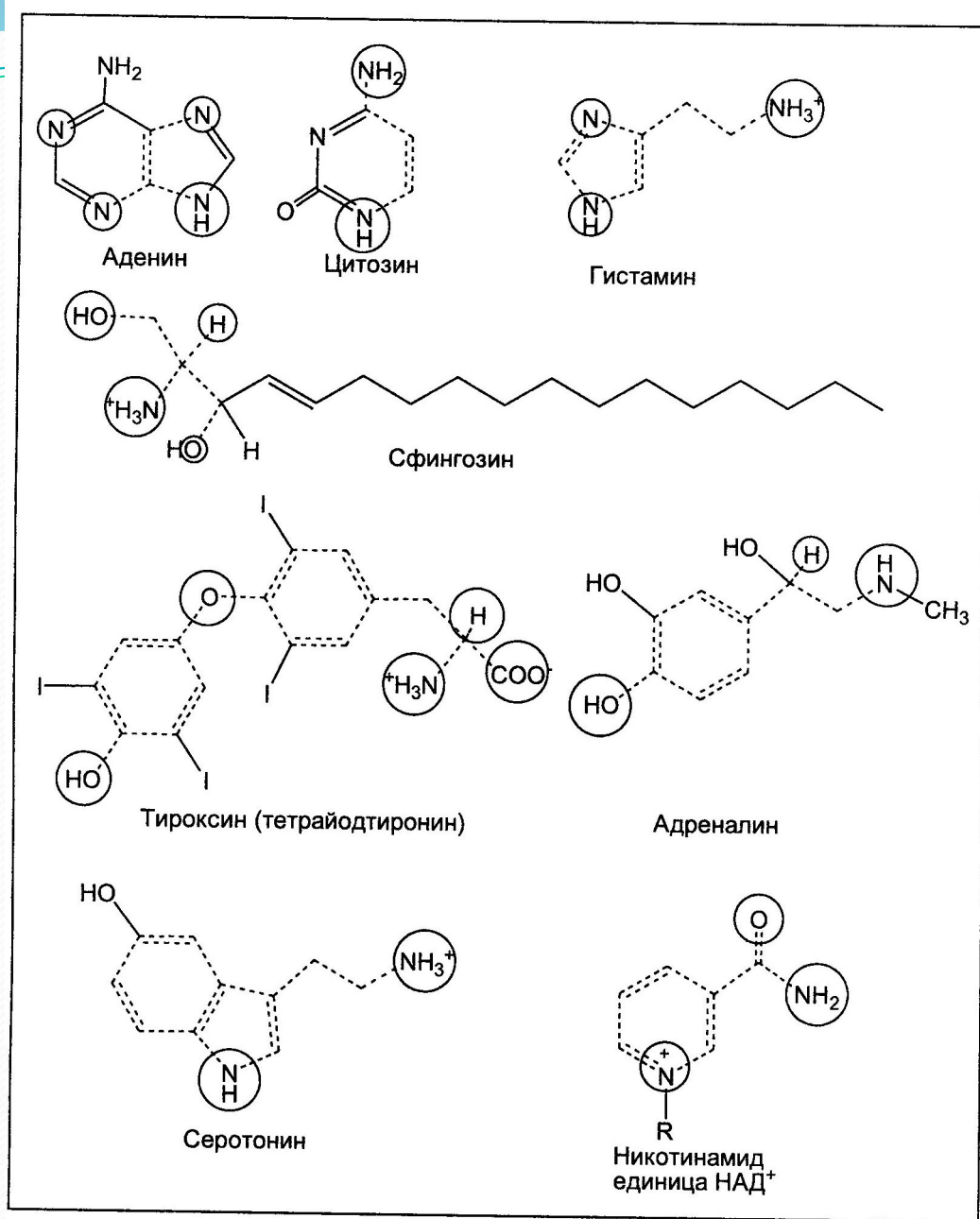


Рис. 22.7. Фенилкетонурия.



**Рис. 22.8.** Биомолекулы — производные аминокислот (фрагменты молекул, показанные пунктиром, и атомы в кружочках происходят из аминокислот).

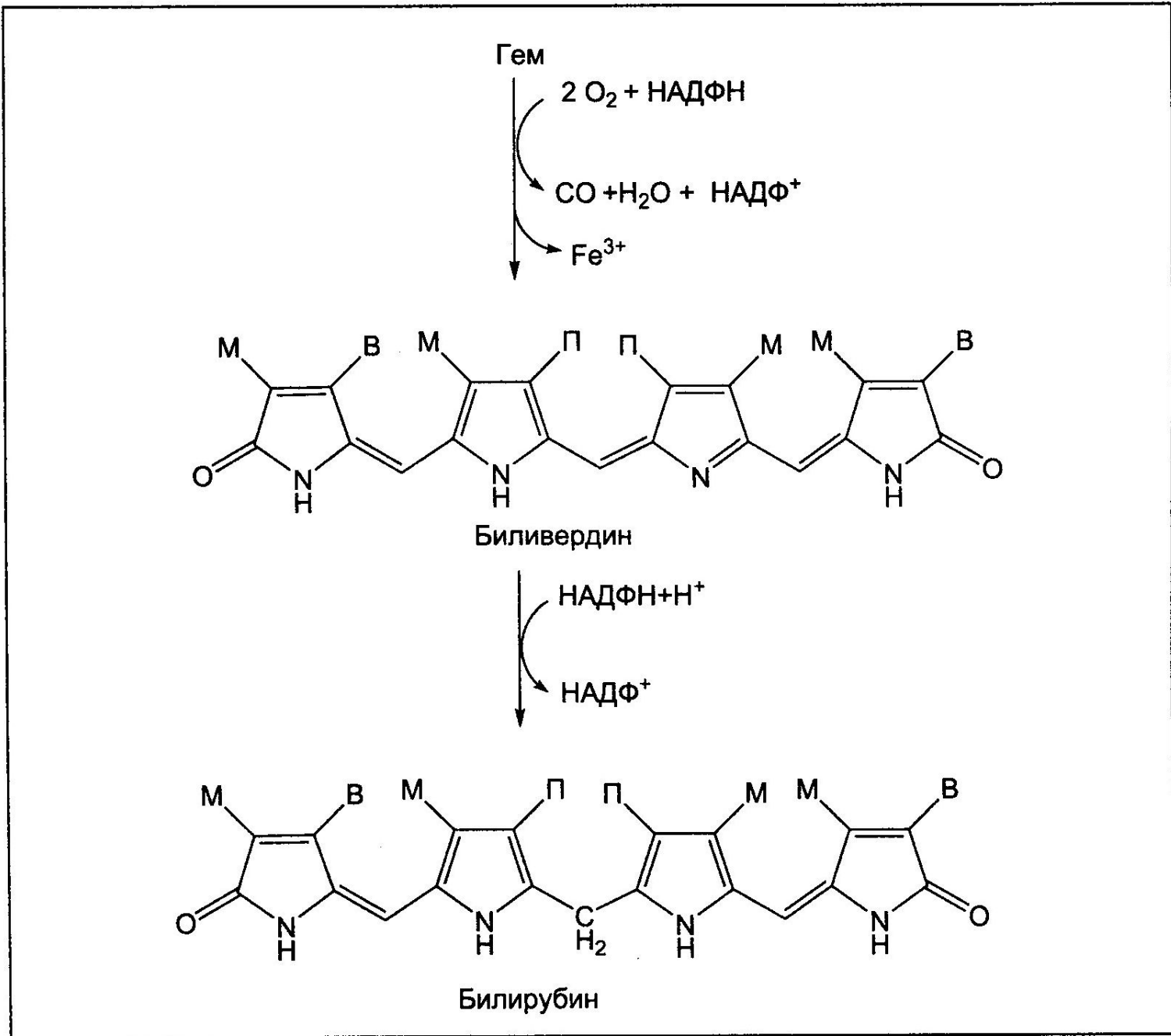
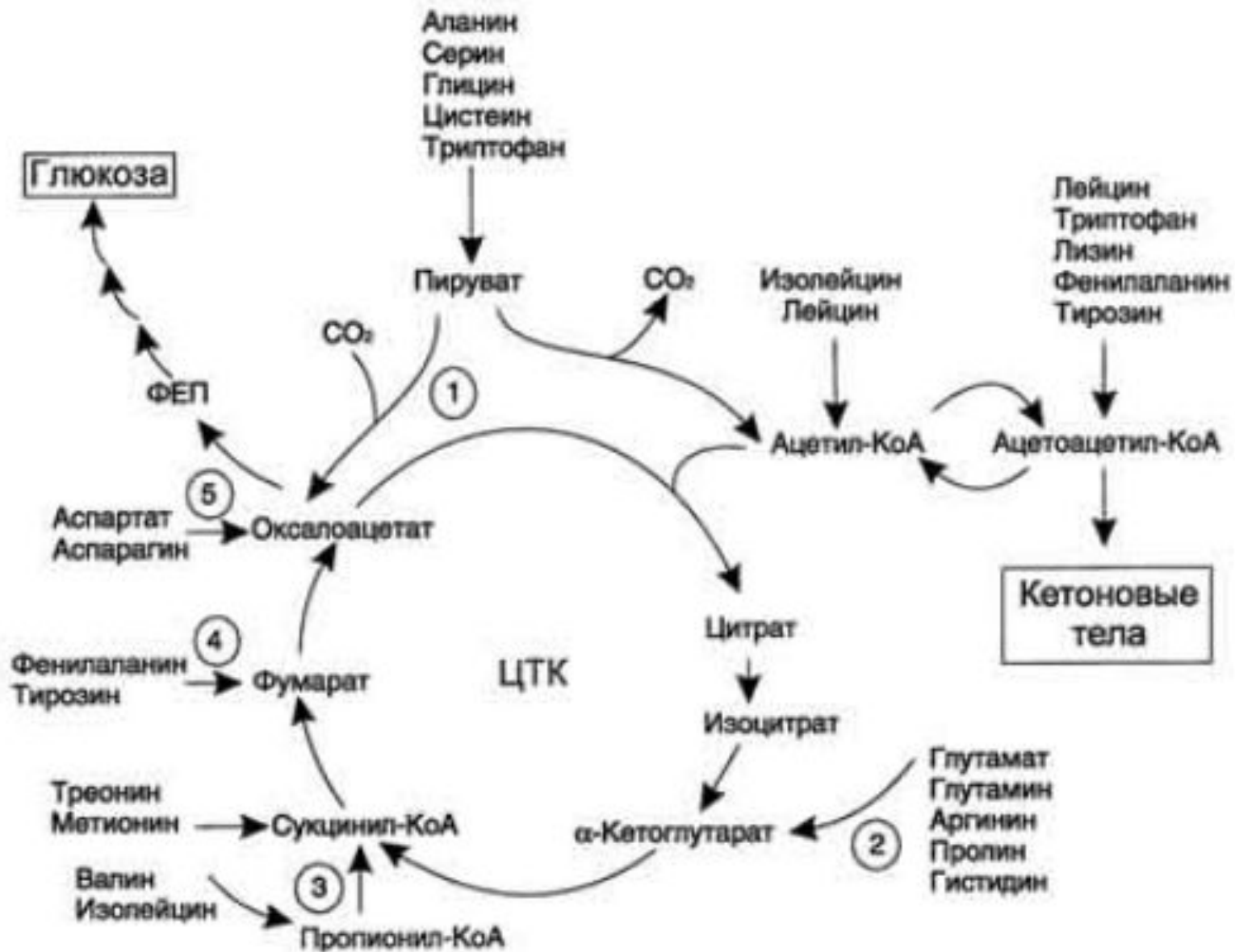


Рис. 22.9. Превращения гема. Обозначения: М — метил; В — винил; П — пропионил.



# Обмен отдельных аминокислот

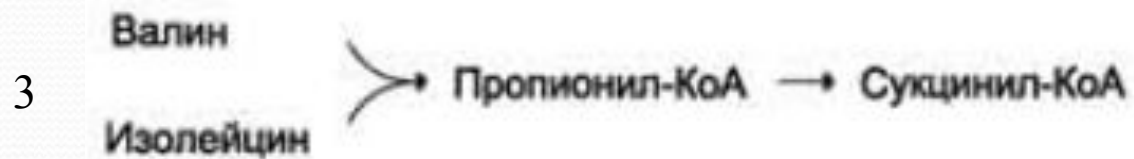
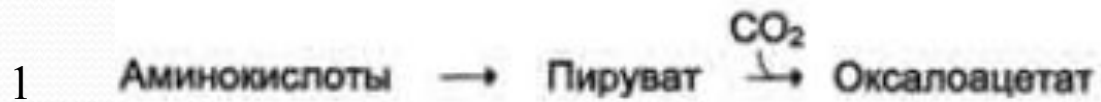


Включение безазотистого остатка аминокислот в общий путь катаболизма

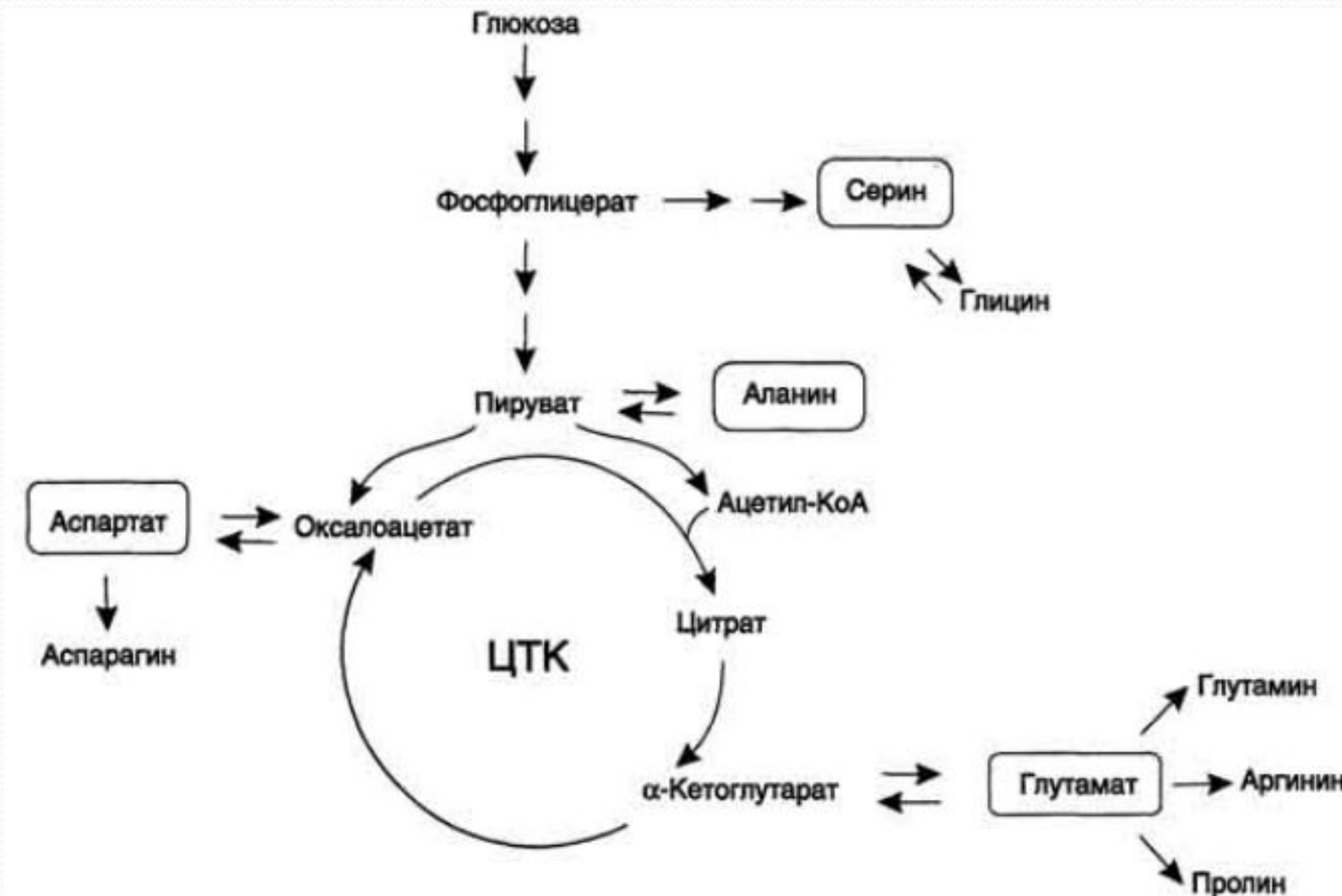
<b>Гликогенные аминокислоты</b>	<b>Гликокетогенные аминокислоты</b>	<b>Кетогенные аминокислоты</b>
Аланин	Тирозин	Лейцин
Аспарагин	Изолейцин	Лизин
Аспартат	Фенилаланин	
Глицин	Триптофан	
Глутамат		
Глутамин		
Пролин		
Серин		
Цистеин		
Аргинин		
Гистидин		
Валин		
Метионин		
Треонин		

Безазотистые остатки аминокислот используются для восполнения того количества метаболитов общего пути катаболизма, которое затрачивается на синтез биологически активных веществ. Такие реакции называют анаплеротическими.

Выделены пять анаплеротических реакций:



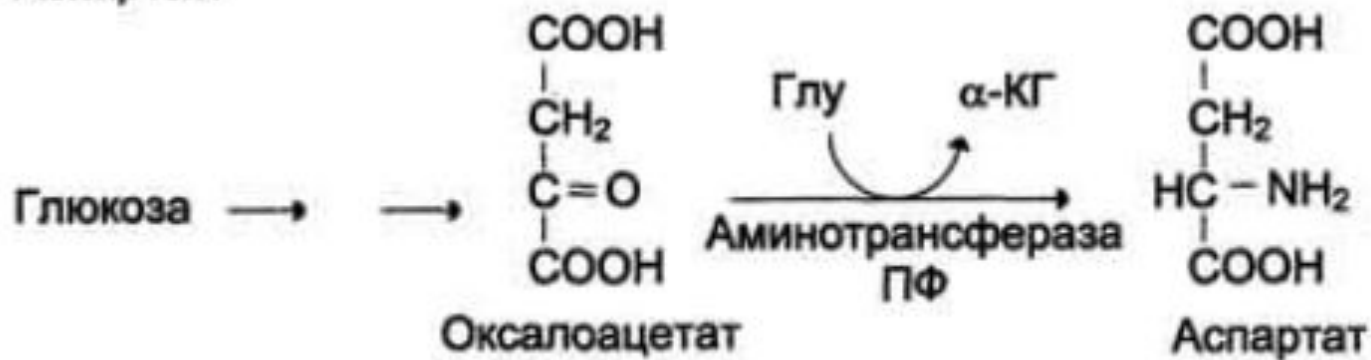
# Пути биосинтеза заменимых аминокислот.



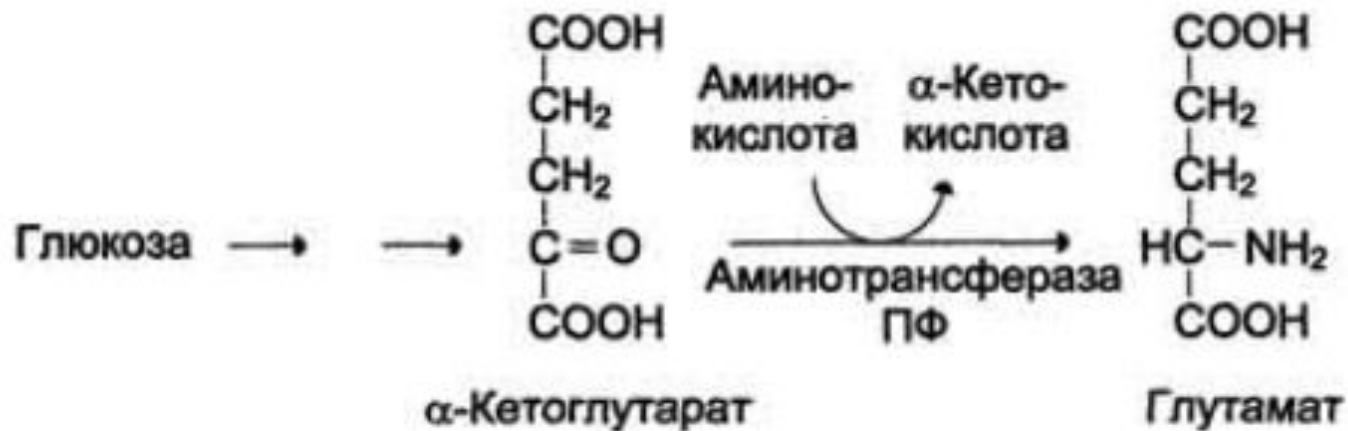
• Аланин:



• Аспарат:



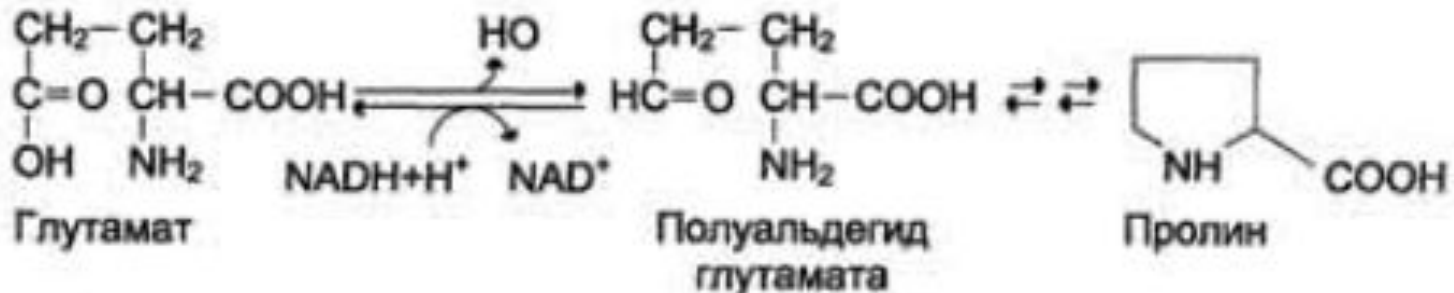
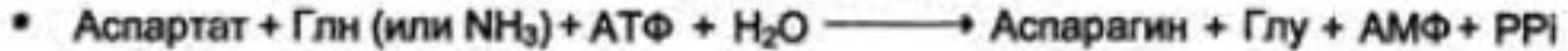
• Глутамат:



### Глутаминсинтетаза

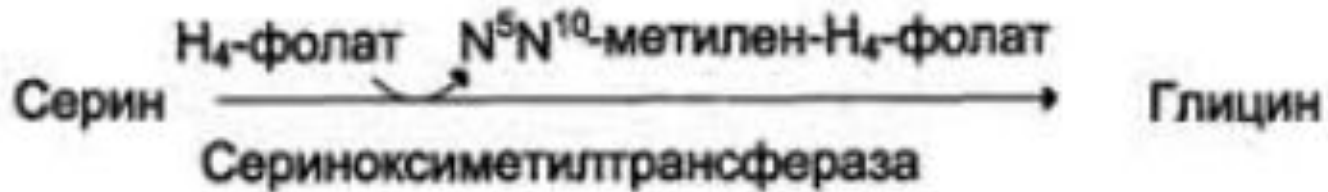


### Аспарагинсинтетаза

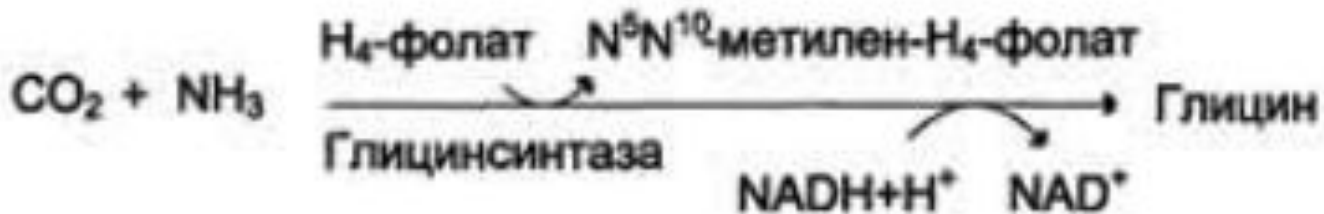


Существует 2 пути синтеза глицина:

1) из серина с участием производного фолиевой кислоты в результате действия сериноксиметилтрансферазы:



2) в результате действия фермента глицинсинтазы в реакции:





# Обмен серина и глицина

**Серин** - заменимая аминокислота, синтезируется из промежуточного продукта гликолиза - 3-фосфоглицерата, а аминогруппу получает от глутаминовой кислоты.

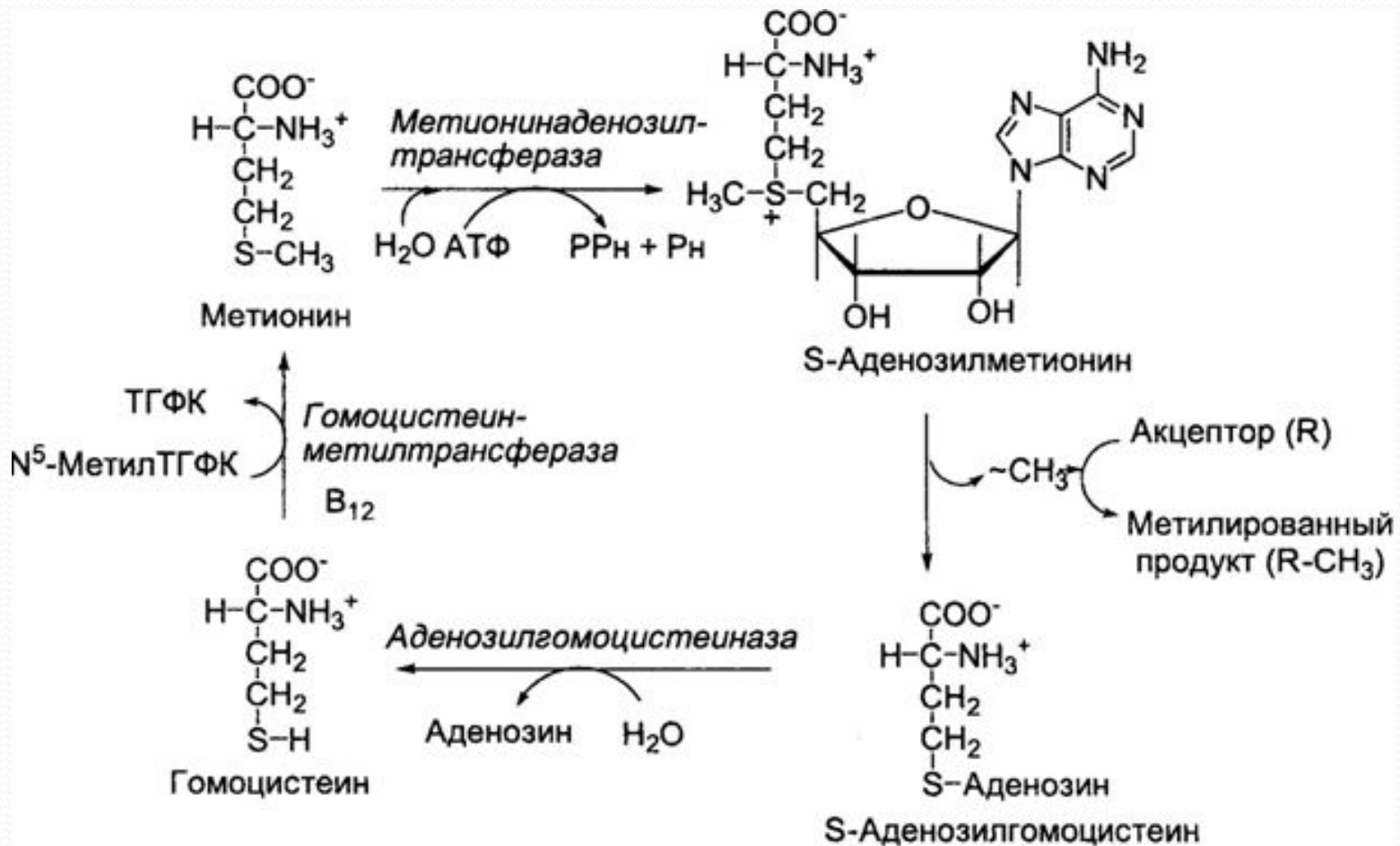
**Глицин** - также заменимая аминокислота, основным источником которой служит серин. Реакцию синтеза глицина из серина катализирует фермент серин-оксиметилтрансфераза, коферментом которой является  $N_4$ -фолат.



## **Обмен серосодержащих аминокислот**

В состав белков человека входят 2 аминокислоты, содержащие серу, - метионин и цистеин. Эти аминокислоты метаболически тесно связаны между собой

**Метионин** - незаменимая аминокислота. Она необходима для синтеза белков организма, участвует в реакциях дезаминирования, является источником атома серы для синтеза цистеина. Метионил-тРНК участвует в инициации процесса трансляции. Метальная группа метионина - мобильный одноуглеродный фрагмент, используемый для синтеза ряда соединений. Перенос метильной группы метионина на соответствующий акцептор называют **реакцией трансметиляции**, имеющей важное метаболическое значение.



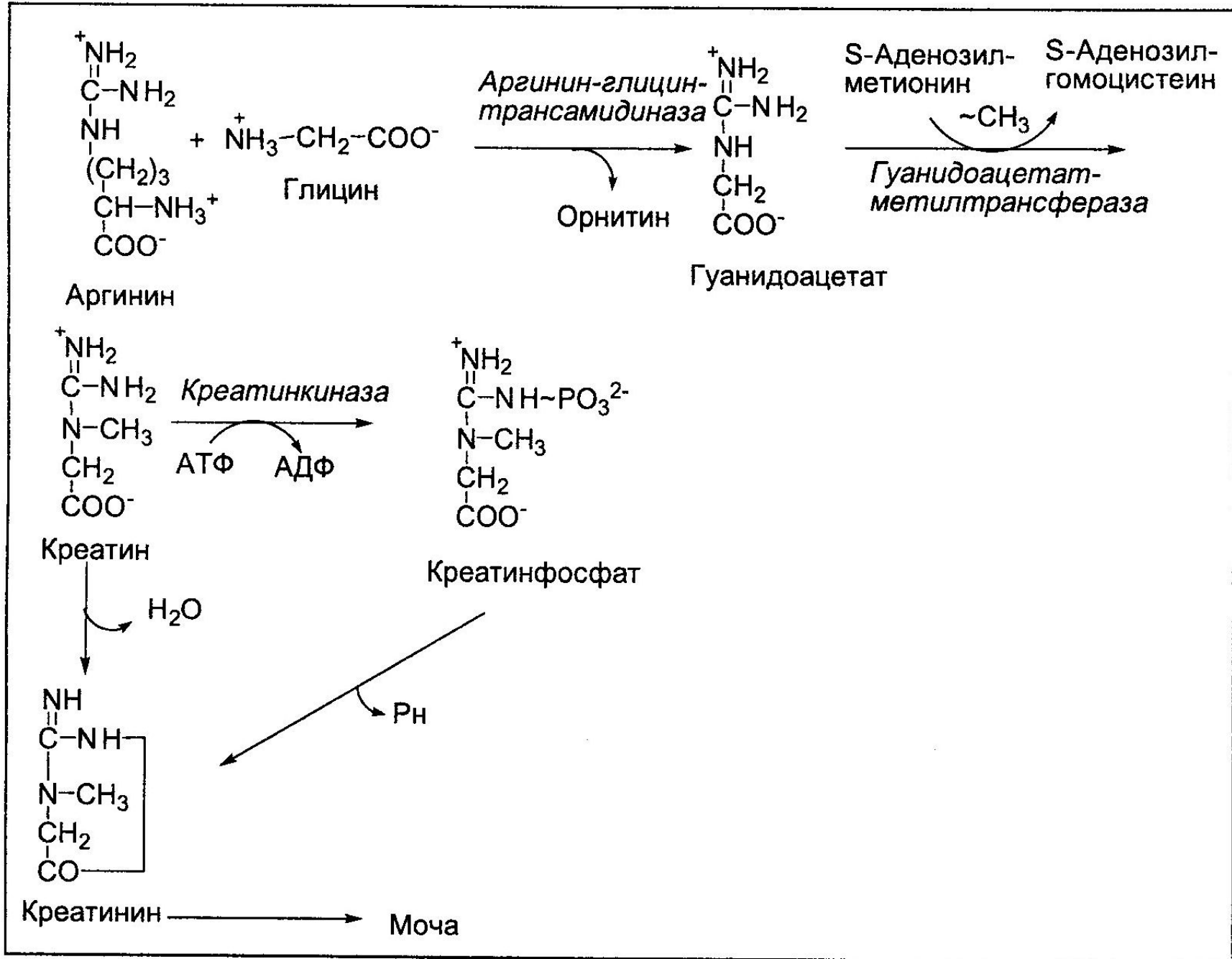


Рис. 22.3. Синтез креатина и креатинина.

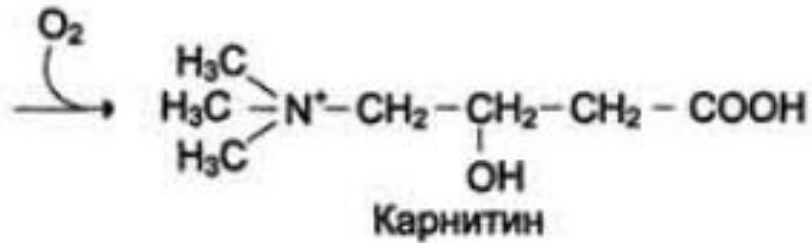
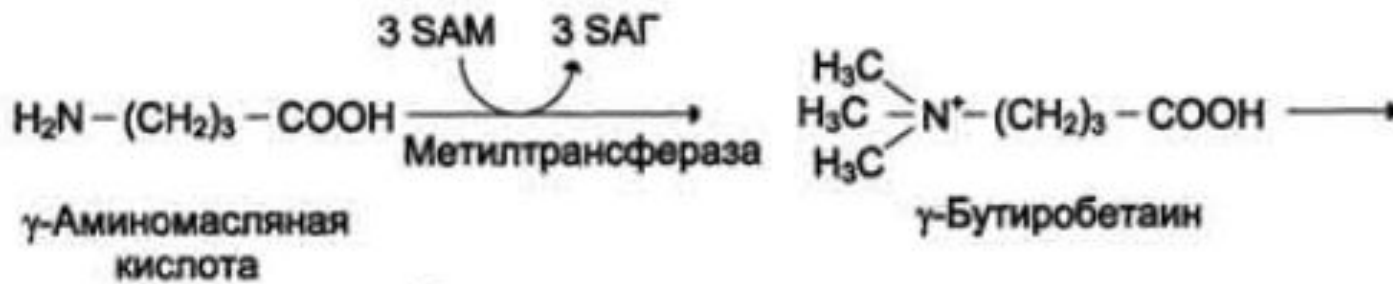




Рис. 22.4. Синтез адреналина.

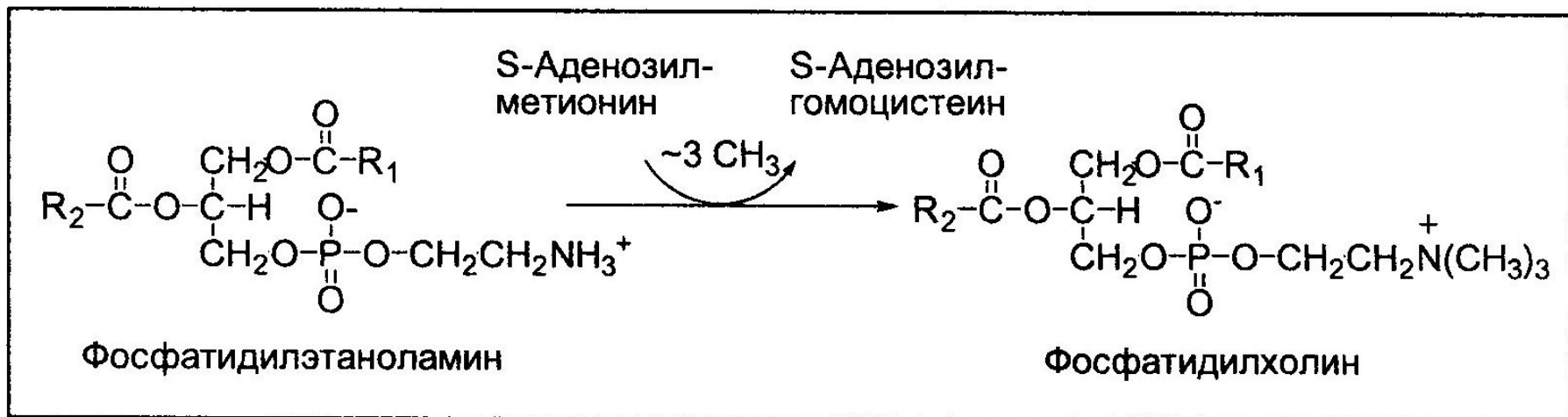
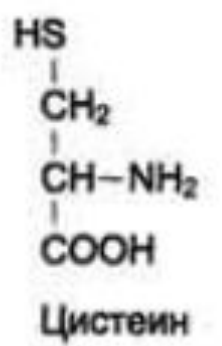
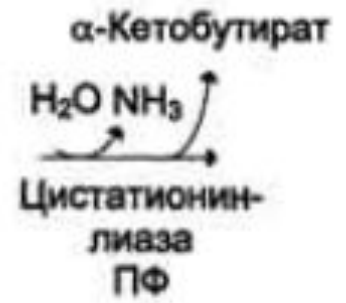
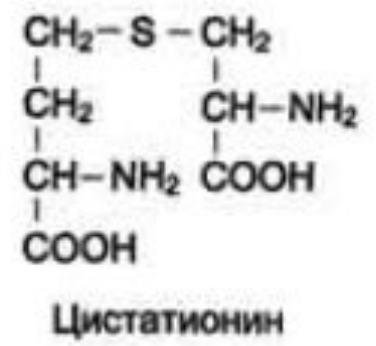
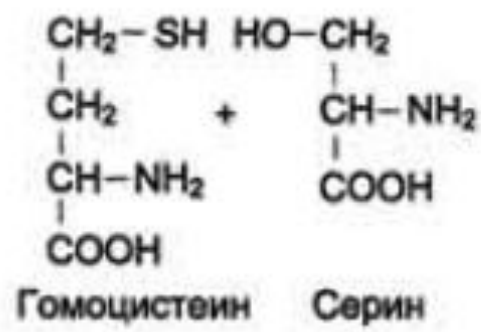
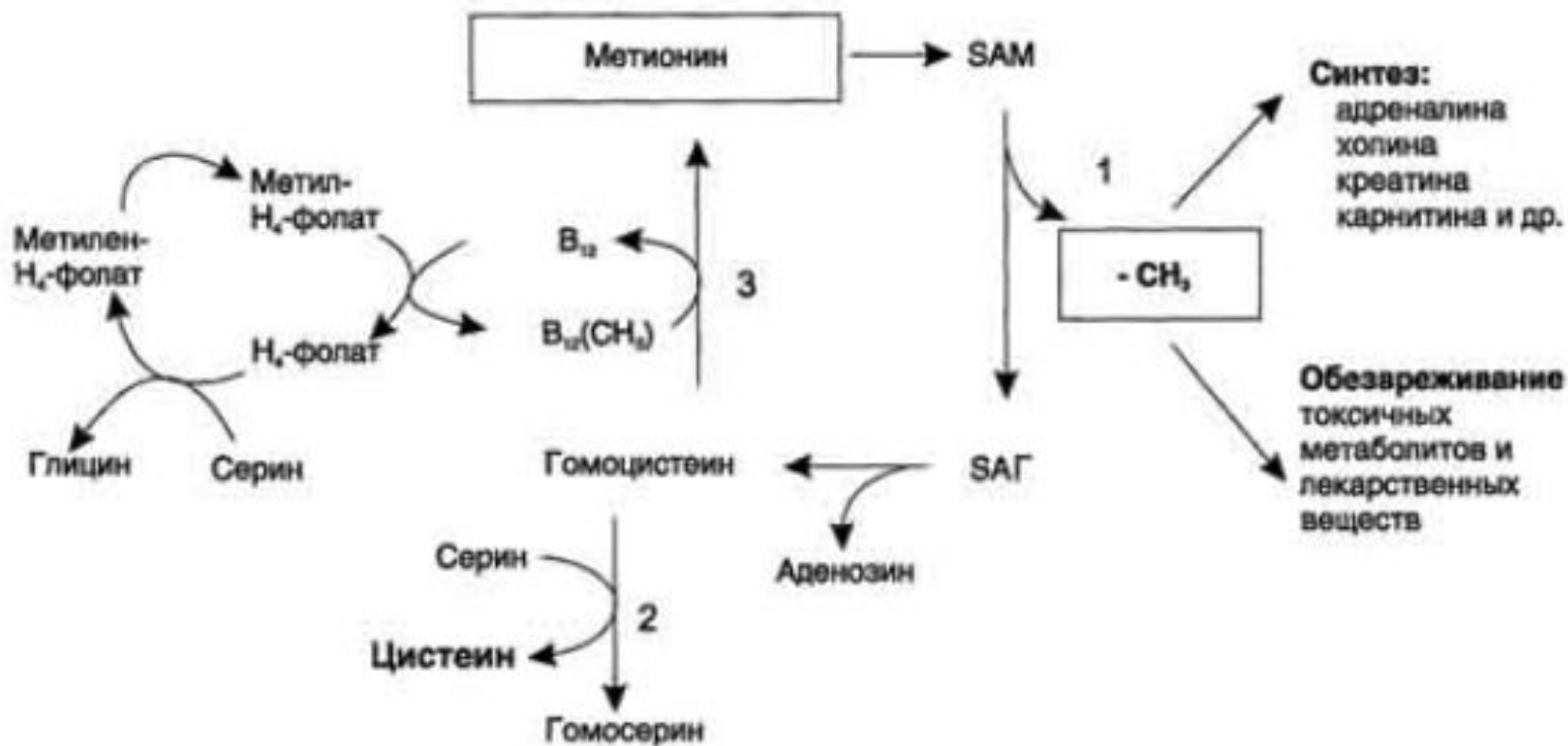


Рис. 22.5. Синтез фосфатидилхолина.

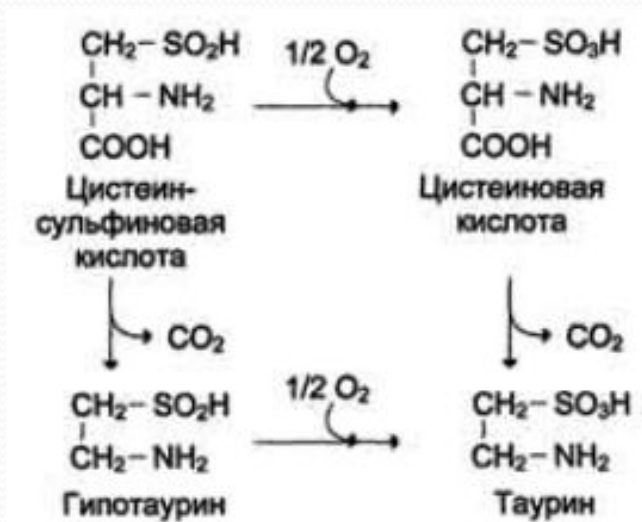






**Метаболизм метионина.** 1 - реакции трансметилирования; 2 - синтез цистеина; 3 - регенерация метионина.

Ещё одним важным путём использования цистеина можно считать **синтез таурина** в животных тканях, который происходит путём декарбоксилирования производных цистеина - цистеиновой и цистеинсульфиновой кислот:



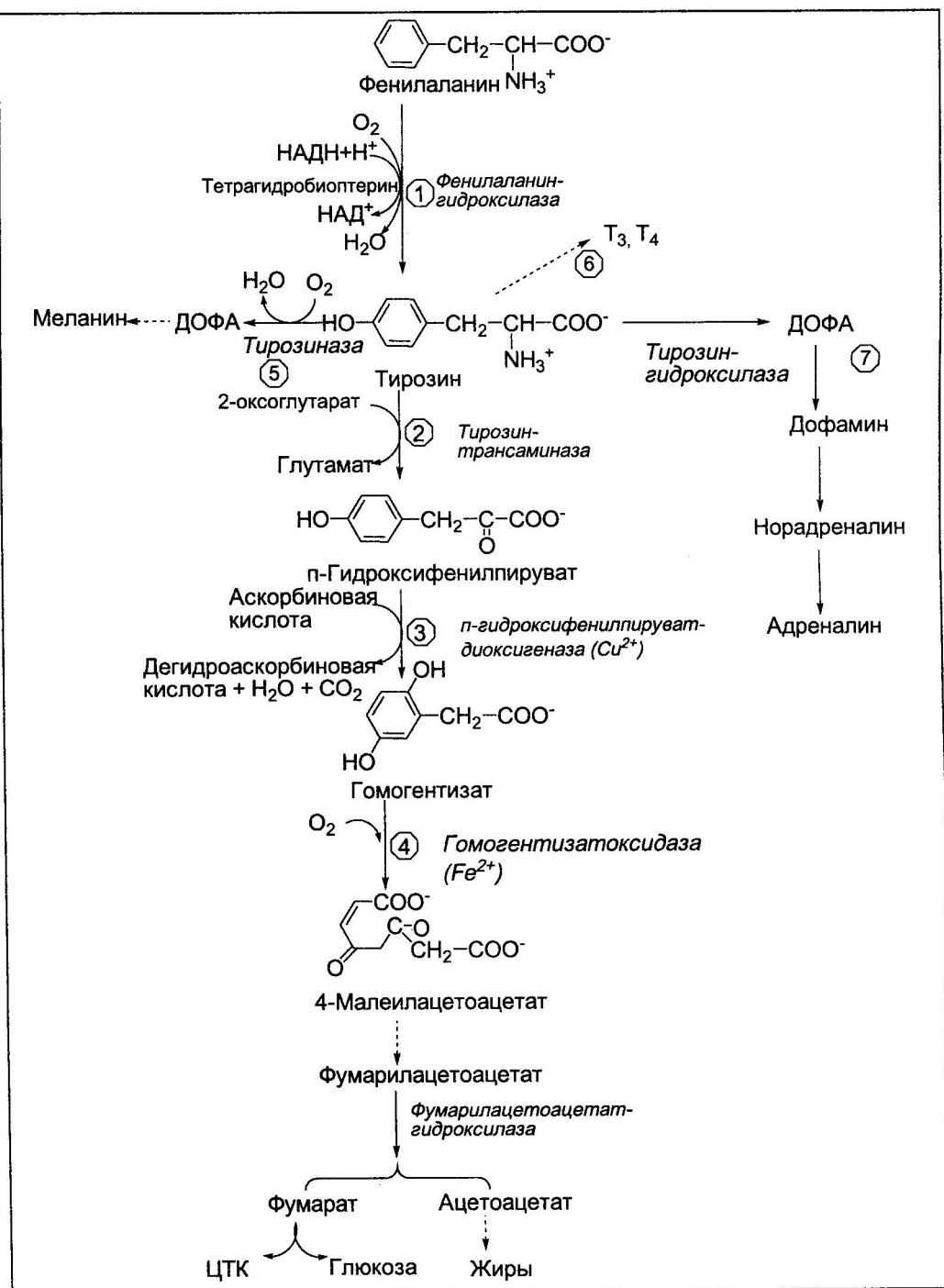
Таурин необходим для синтеза парных жёлчных кислот в печени. Кроме того, он очень важен в клетках как антиоксидант и используется для снижения ПОЛ и связывания гипохлоританиона (в форме хлораминового комплекса).



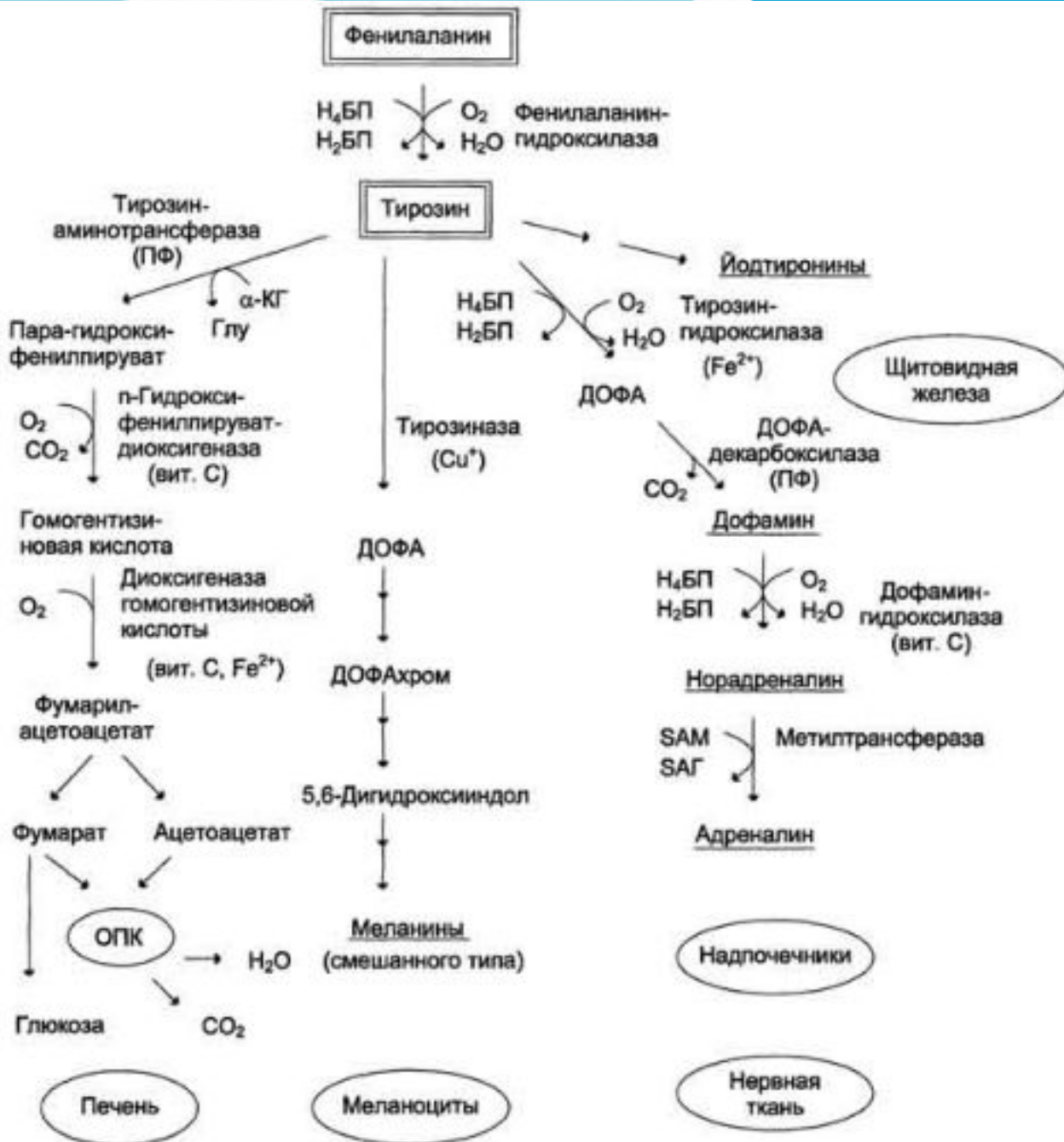
Цистеин также служит предшественником тиоэтаноламинового фрагмента HS-CoA (кофермента А).

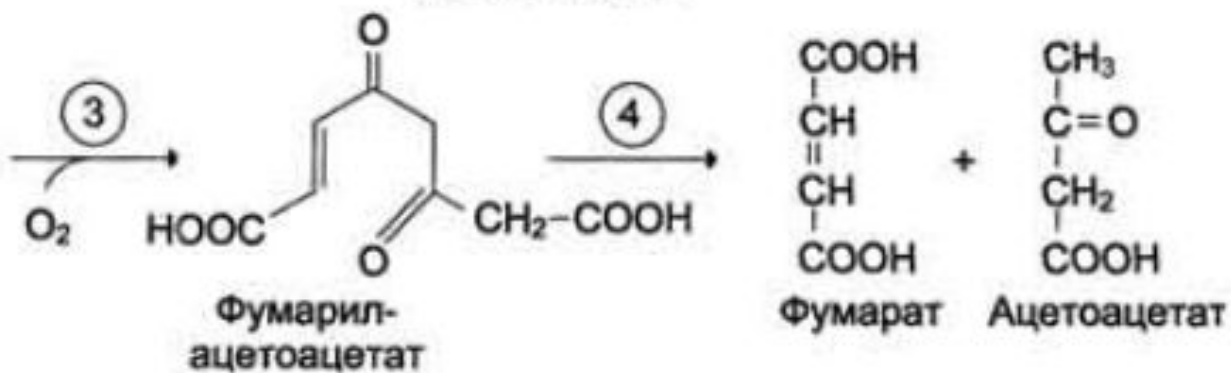
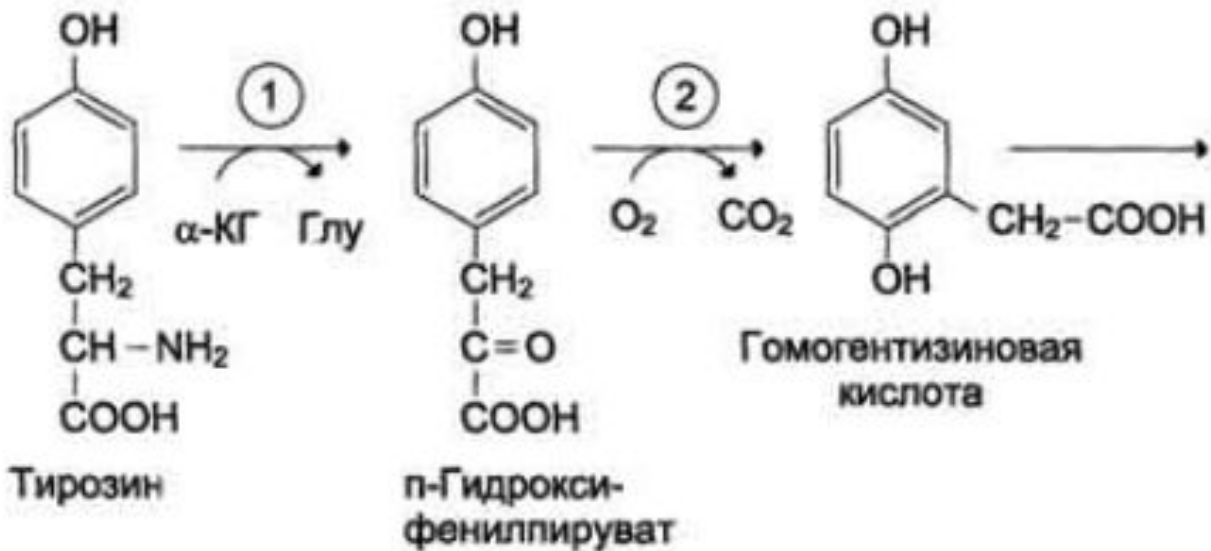
Катаболизм цистеина происходит окислительным путём.

Сульфит, который получается в реакции, превращается в сульфат и выводится с мочой, либо превращается в эфиросерные кислоты, которые также экскретируются почками. Цистеин - практически единственный источник сульфатов мочи.



## Метаболизм фенилаланина и тирозина





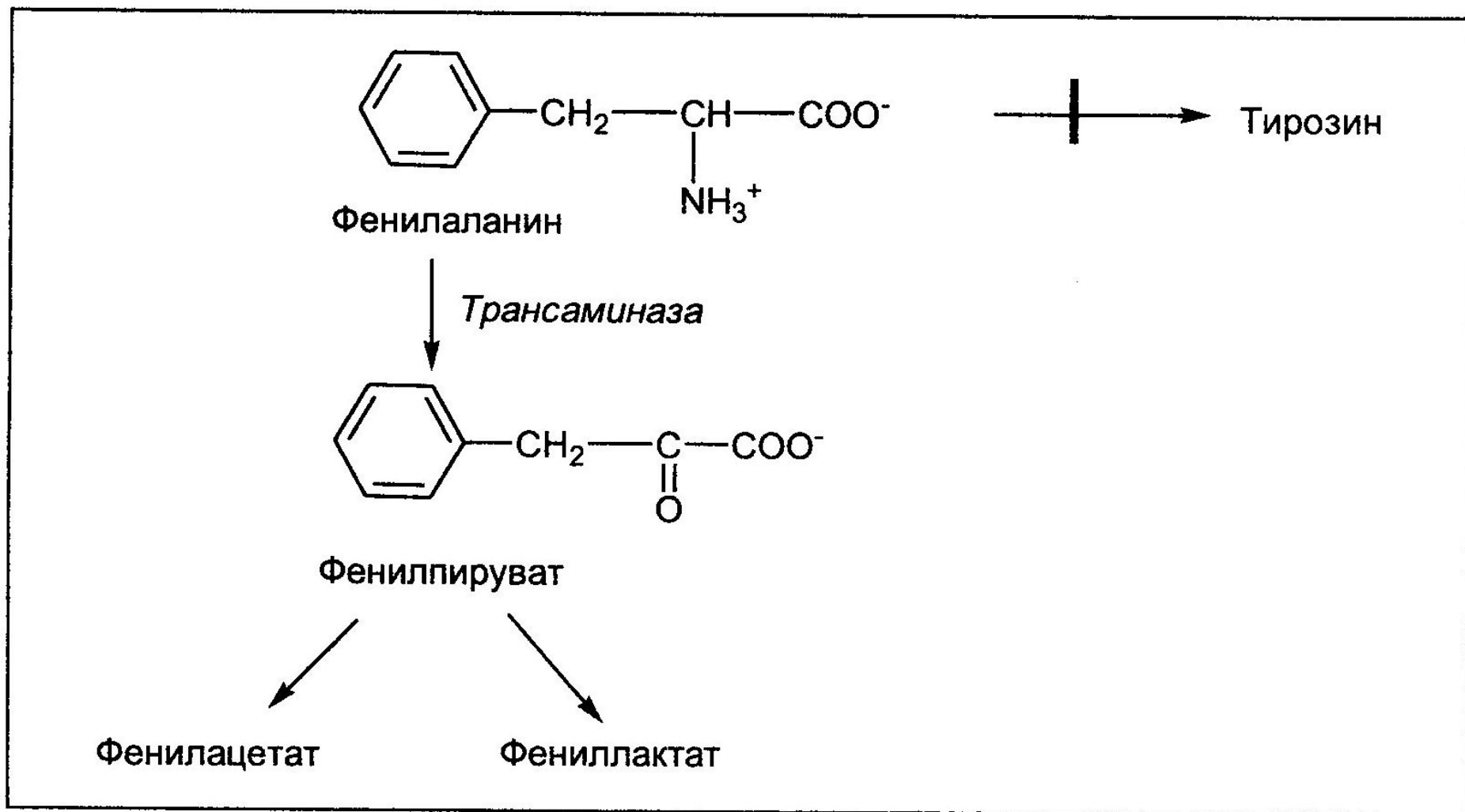


Рис. 22.7. Фенилкетонурия.

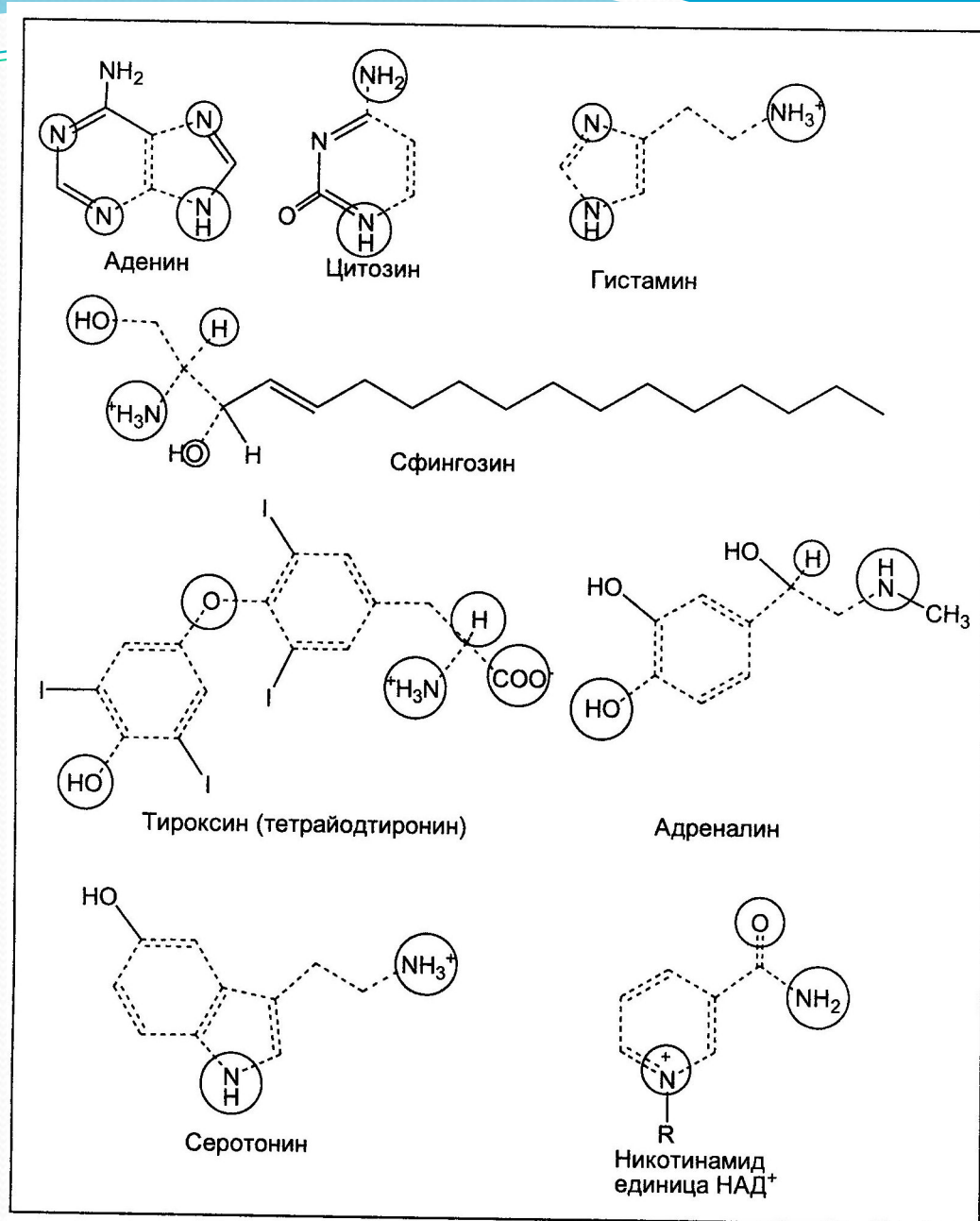


Рис. 22.8. Биомолекулы — производные аминокислот (фрагменты молекул, показанные пунктиром, и атомы в кружочках происходят из аминокислот).



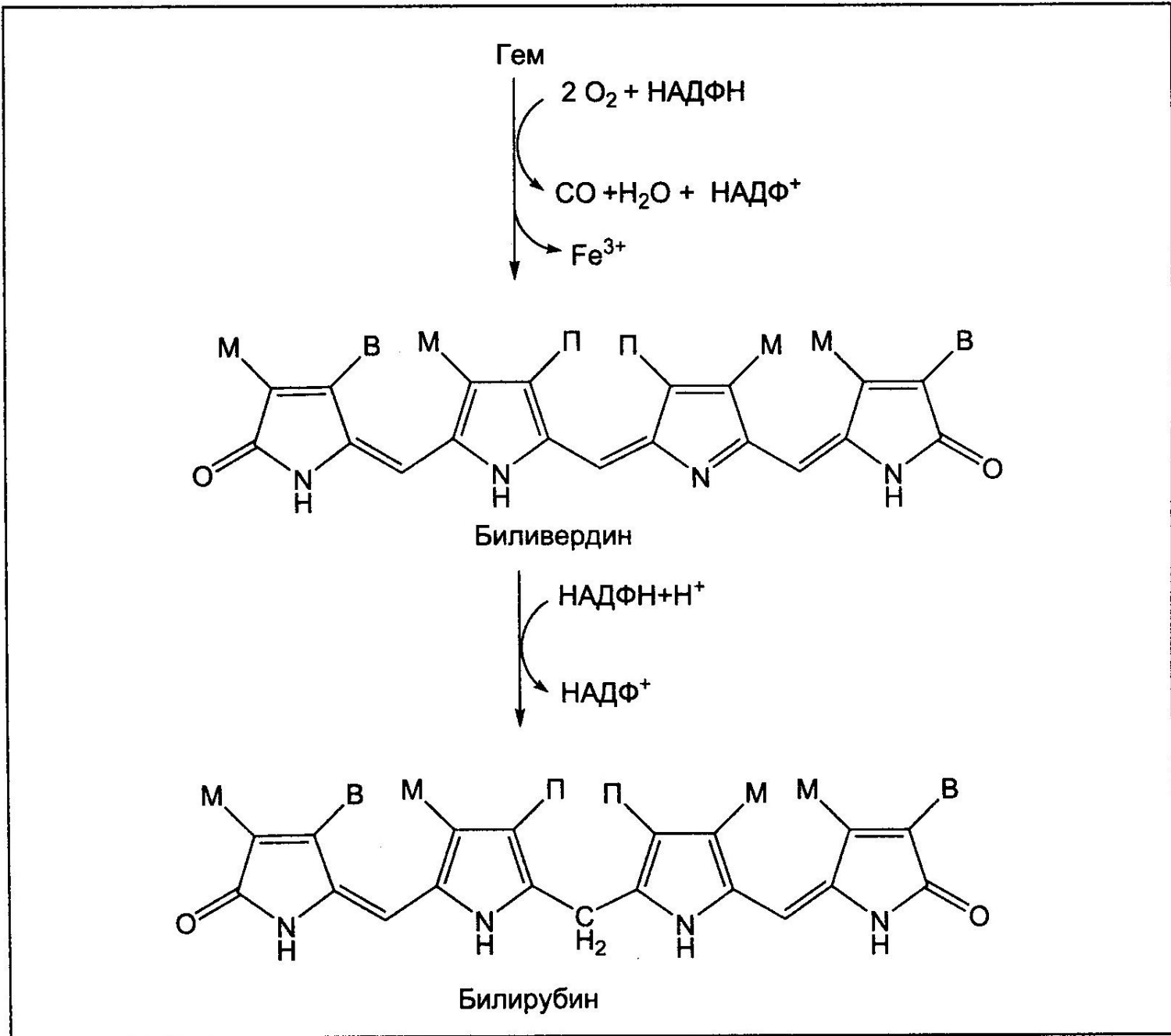


Рис. 22.9. Превращения гема. Обозначения: М — метил; В — винил; П — пропионил.