

ВИТАМИНЫ



Витамины

Витамины – это необходимые для нормальной жизнедеятельности низкомолекулярные органические соединения, синтез которых у организмов данного вида отсутствует или ограничен.

В организме человека некоторые витамины не синтезируются вообще, поэтому они обязательно должны поступать в составе пищи. В пищевых продуктах могут также содержаться предшественники витаминов – провитамины, которые в организме в результате биохимических реакций превращаются в витамины.

Витамины

Джеймс Кук на практике доказал роль растительной пищи в предотвращении цинги, введя в корабельный рацион кислую капусту. В результате он не потерял от цинги ни одного матроса — неслыханное достижение для того времени. В 1795 лимоны и другие цитрусовые стали стандартной добавкой к рациону британских

В 1880 году русский биолог **Николай Лунин** из Тартуского университета скармливал подопытным мышам по отдельности все известные элементы, из которых состоит коровье молоко: сахар, белки, жиры, углеводы, соли. Мыши погибли. В то же время мыши, которых кормили молоком, нормально развивались. В своей диссертационной (дипломной) работе Лунин сделал вывод о существовании какого-то неизвестного вещества, необходимого для жизни в небольших количествах.

Витамины

В 1889 году голландский врач Христиан Эйкман обнаружил, что куры при питании варёным белым рисом заболевают бери-бери, а при добавлении в пищу рисовых отрубей — излечиваются. Роль неочищенного риса в предотвращении бери-бери у людей открыта в 1905 году Уильямом Флетчером. В 1906 году Фредерик Хопкинс предположил, что помимо белков, жиров, углеводов и т. д. пища содержит ещё какие-то вещества, необходимые для человеческого организма, которые он назвал «accessory factors». Последний шаг был сделан в 1911 году польским учёным Казимиром Функом (Casimir Funk), работавшим в Лондоне. Он выделил кристаллический препарат, небольшое количество которого излечивало бери-бери. Препарат был назван «Витамайн» (Vitamine), от латинского *vita* — жизнь и английского *amine* — амин, азотсодержащее соединение. Функ высказал предположение, что и другие болезни — цинга, пеллагра, рахит — тоже могут вызываться недостатком каких-то веществ.

Витамины

Особенности действия витаминов *in vivo*:

- 1. Практически не синтезируются в организме.**
- 2. Не обладают структурной функцией.**
- 3. Не используются организмом в качестве источника энергии.**
- 4. Проявляют высокое биологическое действие в малых дозах.**

Витамины являются компонентами ферментных систем, исходным материалом для синтеза гормонов, обеспечивают нормальное функционирование нервной системы, мышц и т.д.

Витамины

В зависимости от степени обеспечения организма каким-либо витамином различают несколько форм патологических состояний: авитаминоз, гиповитаминоз и гипервитаминоз.

Авитаминоз – комплекс симптомов, развивающихся в организме в результате достаточно полного или почти полного отсутствия одного из витаминов. Полиавитаминоз – сразу нескольких.

Гиповитаминоз – состояние, характеризующее частичную, но уже проявившуюся специфическим образом недостаточность витаминов.

Гипервитаминоз – нарушение обмена и функций организма, возникающее вследствие длительного избыточного введения в организм любого из витаминов.

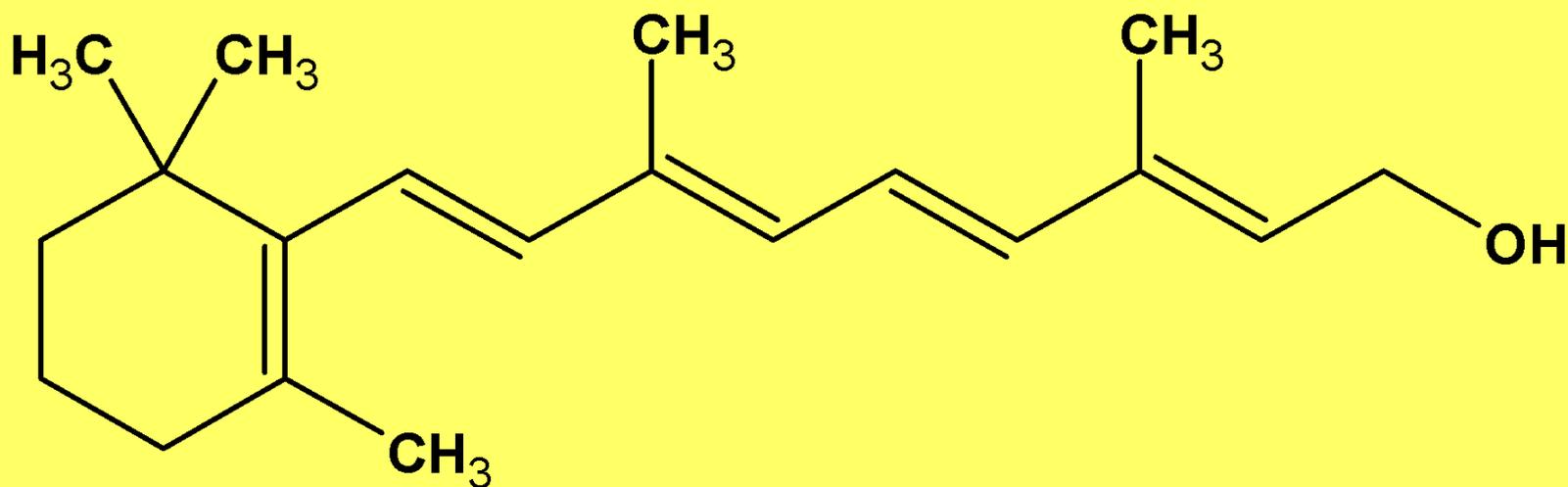
Витамины

Согласно Международной химической номенклатуре витамины подразделяют по растворимости на водорастворимые и жирорастворимые, кроме того выделяют группу витаминоподобных соединений сходных с витаминами в том, что они являются незаменимыми факторами питания, но по механизму участия в обмене веществ в строгом смысле их нельзя отнести к витаминам.

ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин А - антиксерофтальмический

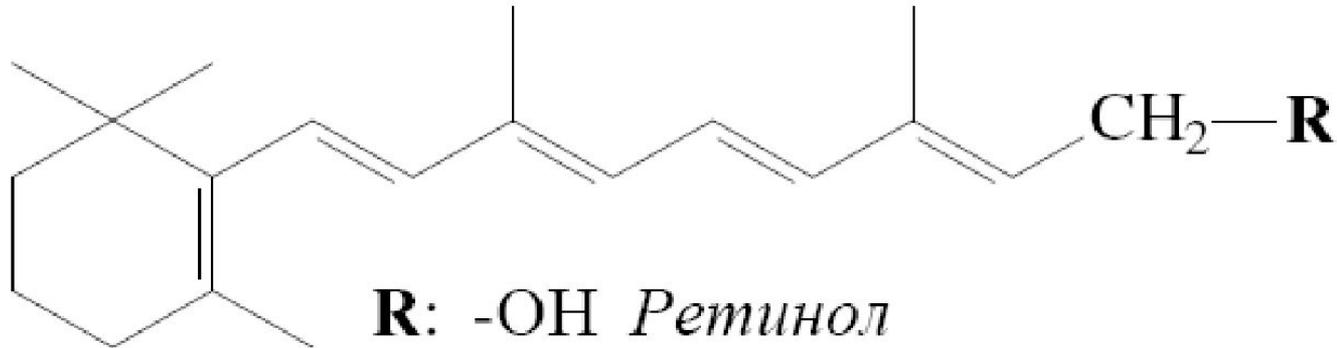
Существует в виде нескольких витамеров



Ретинол (A₁)

Суточная потребность 1.5-2 мг

Витамин А



R: -ОН *Ретинол*

-COOH *Ретиноевая кислота*

-СОН *Ретиналь*

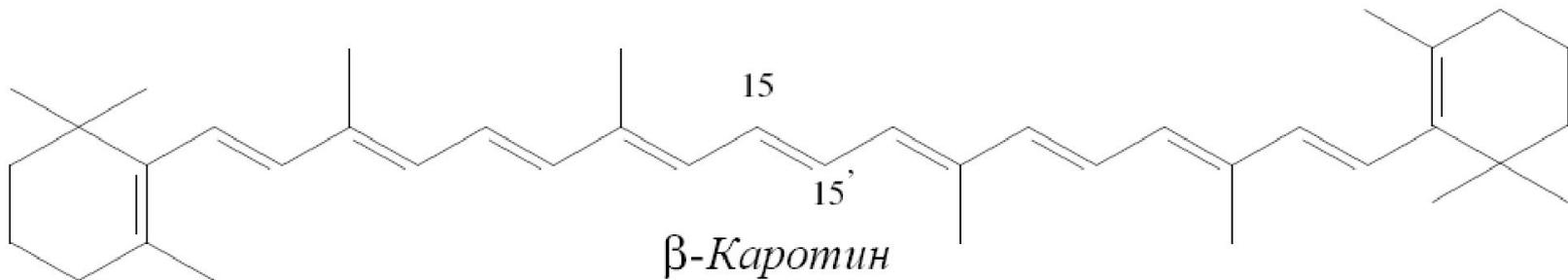
В организме ретинол легко окисляется до ретиналя и ретиноевой кислоты. В организме существует в основном в транс-конфигурации.

Витамин А

Таблица 3.2. Содержание витамина А в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина А, мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина А, мг на 100 г
Рыбий жир	24,0	Свинина	0,32
Куриная печень	11,0	Шиповник	0,26
Свиная печень	9,0	Абрикосы	0,26
Морковь	1,5	Облепиха	0,25
Петрушка	1,17	Тыква	0,20
Сливочное масло	0,67	Помидоры	0,12
Шпинат	0,61	Персики	0,08
Яичный желток	0,57	Козье молоко	0,06
Фенхель	0,54	Фасоль	0,06
Красный болгарский перец	0,33	Куриное мясо	0,04

Витамин А



В кишечной стенке β-каротин окисляется кислородом по связи 15-15' и распадается на 2 молекулы ретиналя с участием каротиндезоксигеназы.

Витамин А

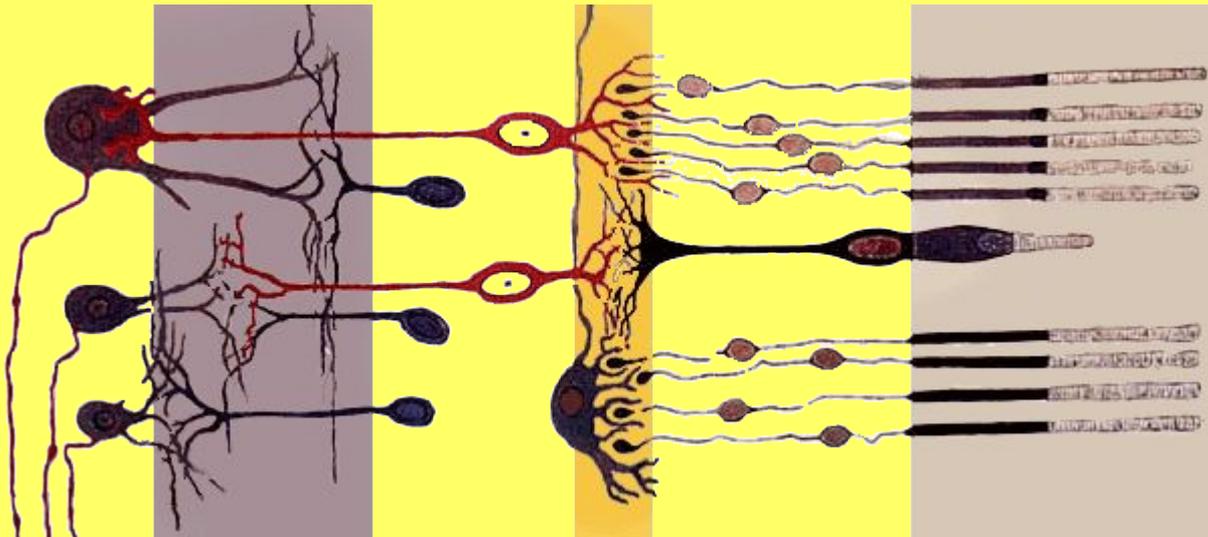
Таблица 3.3. Содержание β -каротина в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание β -каротина, мг на 100 г	Продукт	Содержание β -каротина, мг на 100 г
Морковь	9,02	Абрикосы	1,55
Петрушка	4,20	Тыква	1,19
Шпинат	3,66	Зеленый салат	0,70
Фенхель	3,36	Помидоры	0,70
Красный болгарский перец	2,0	Яблоки	0,05

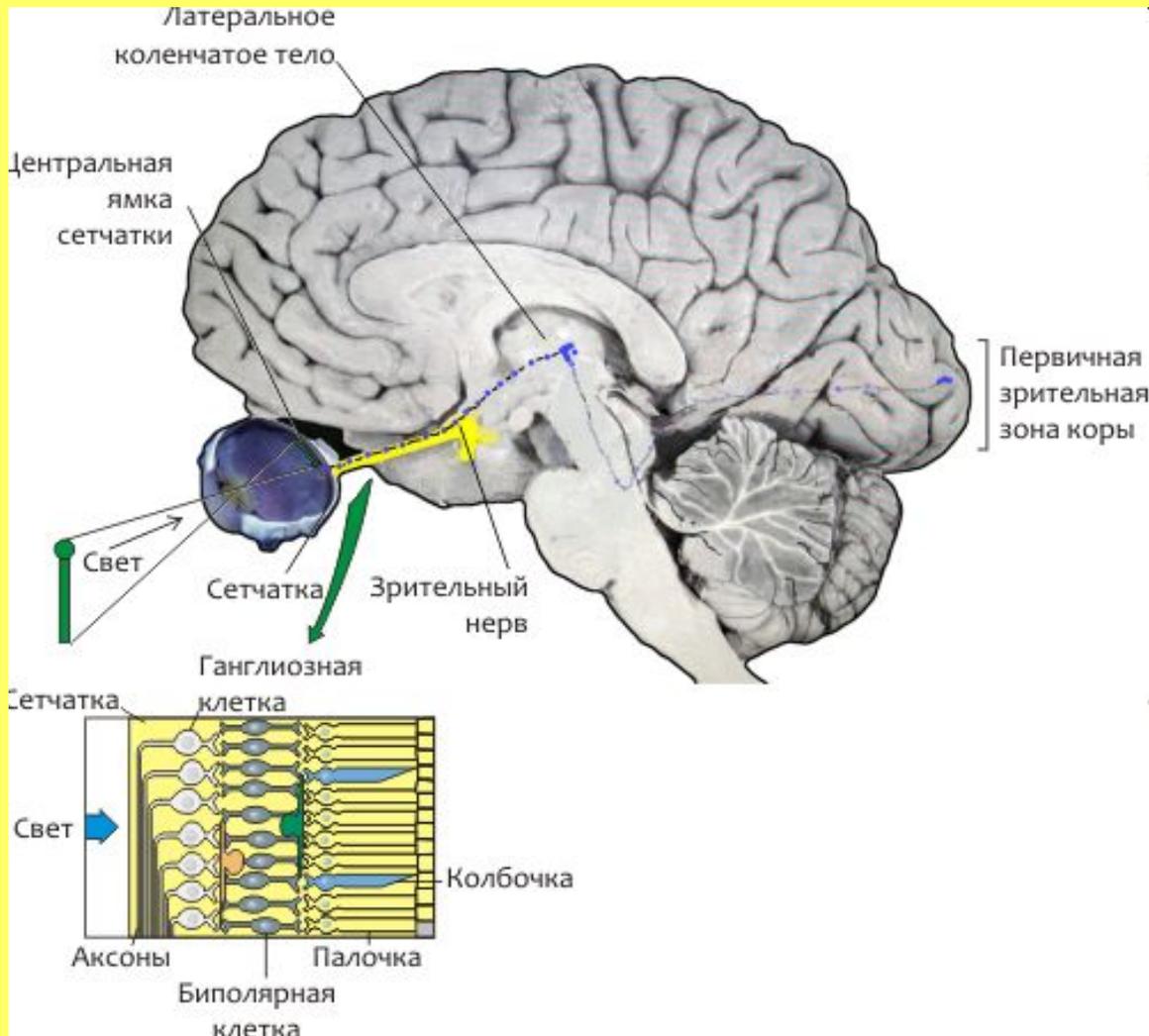
Биохимические функции – витамин роста, участвует в процессе зрения.

Витамин А

Сетчатка глаза содержит рецепторные клетки двух типов – палочки и колбочки. Колбочки, сконцентрированные преимущественно в центральной области сетчатки (называемой *центральной ямкой*), функционируют только при ярком свете и отвечают за цветное зрение и чувствительность к мелким деталям, а более многочисленные палочки ответственны за зрение в условиях слабой освещенности и отключаются при ярком освещении. (Это является причиной того, что ночью невозможно уверенно различить цвета предметов.)



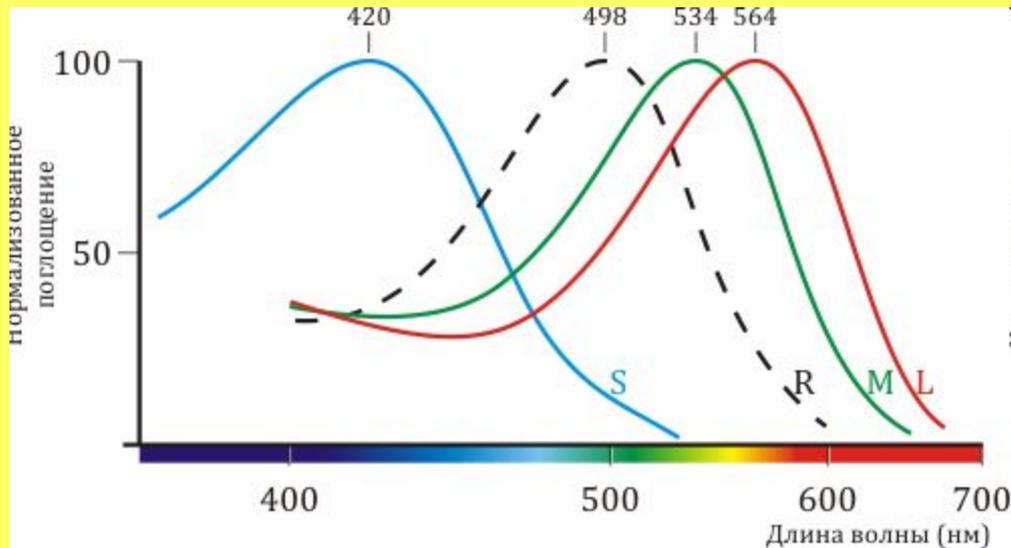
Витамин А



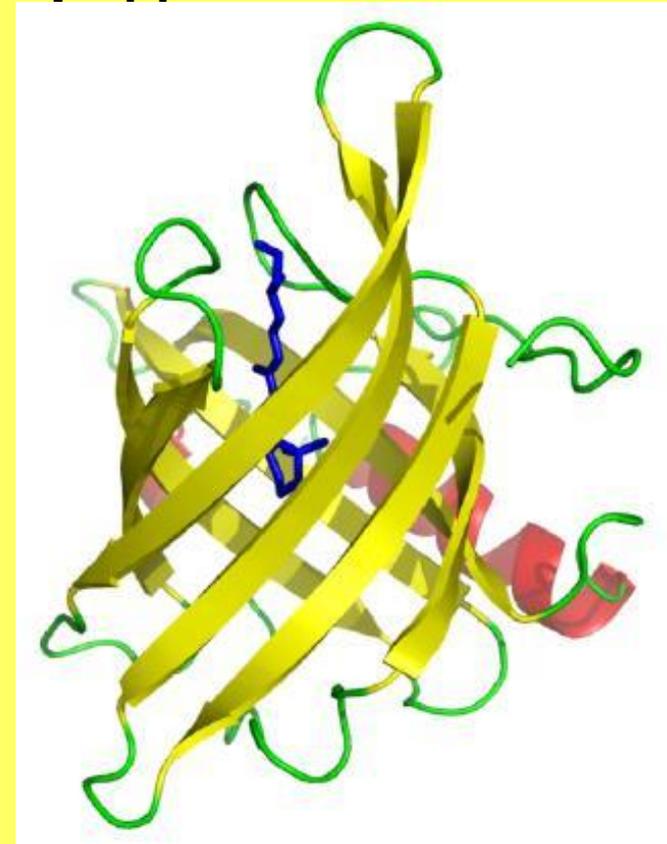
В увеличенном фрагменте сетчатки показано относительное расположение трёх её слоёв. Задний слой сетчатки состоит из длинных и узких клеток фоторецепторов — палочек и колбочек.

Мембраны колбочек содержат три типа рецепторов-опсинов, отвечающих за восприятие света с различными длинами волн, — *синего*, *зеленого* и *красного* пигментов.

Витамин А

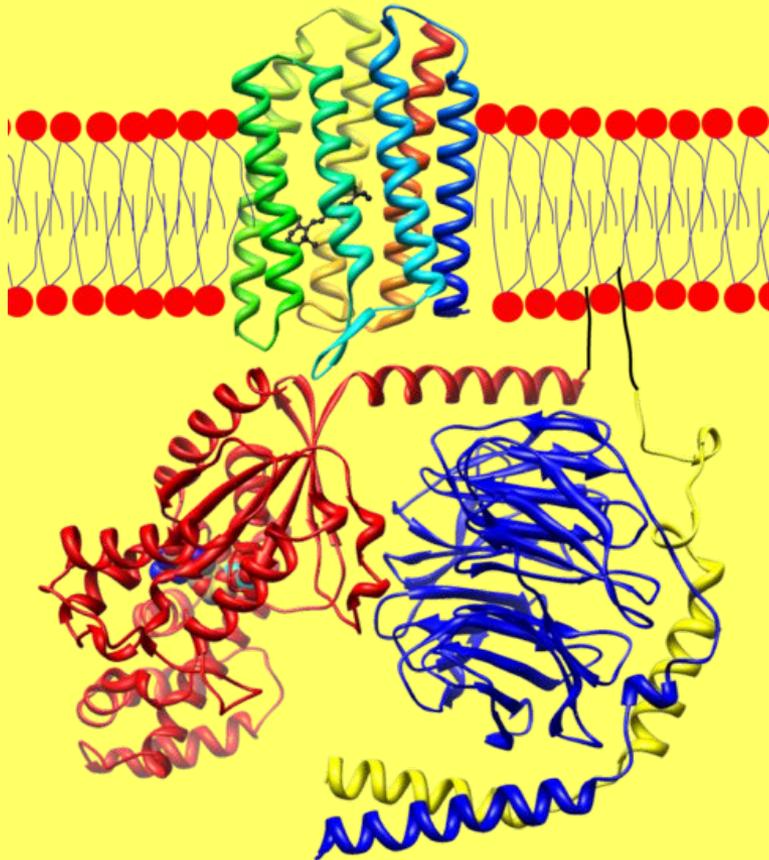


родопсин



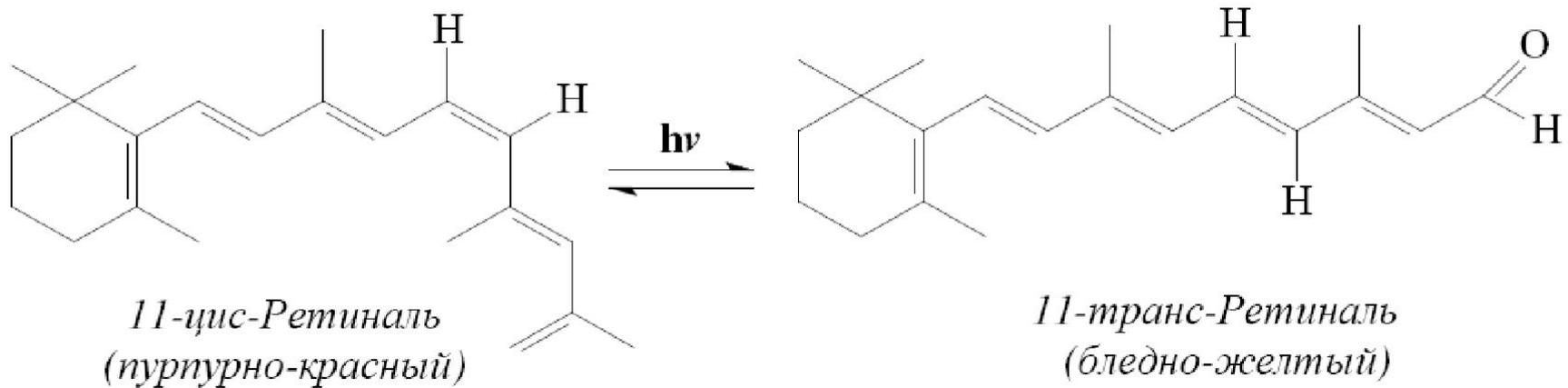
Спектральные характеристики родопсина и трёх других типов опсинов. Цветное зрение приматов *трихроматично*, то есть определяется тремя типами клеток-«колбочек», содержащих каждая свой тип светочувствительного пигмента, по аминокислотной последовательности и структуре очень схожего с родопсином. На рисунке приведены нормализованные спектры поглощения «синего» (β), «зелено-голубого» (γ) и «жёлто-зеленого» (ρ) пигментов из S-, M- и L-колбочек, соответственно. Также показан спектр родопсина из клеток-«палочек» (обозначен пунктиром).

Родопсин



Родопсин (зрительный пурпур) — основной зрительный пигмент в составе палочек сетчатки глаза человека и животных. Родопсин является хромопротеином, в нем цис-ретиналь ковалентно связан с белком (опсином) путем образования шиффова основания с аминок группой лизинового остатка опсина.

Витамин А



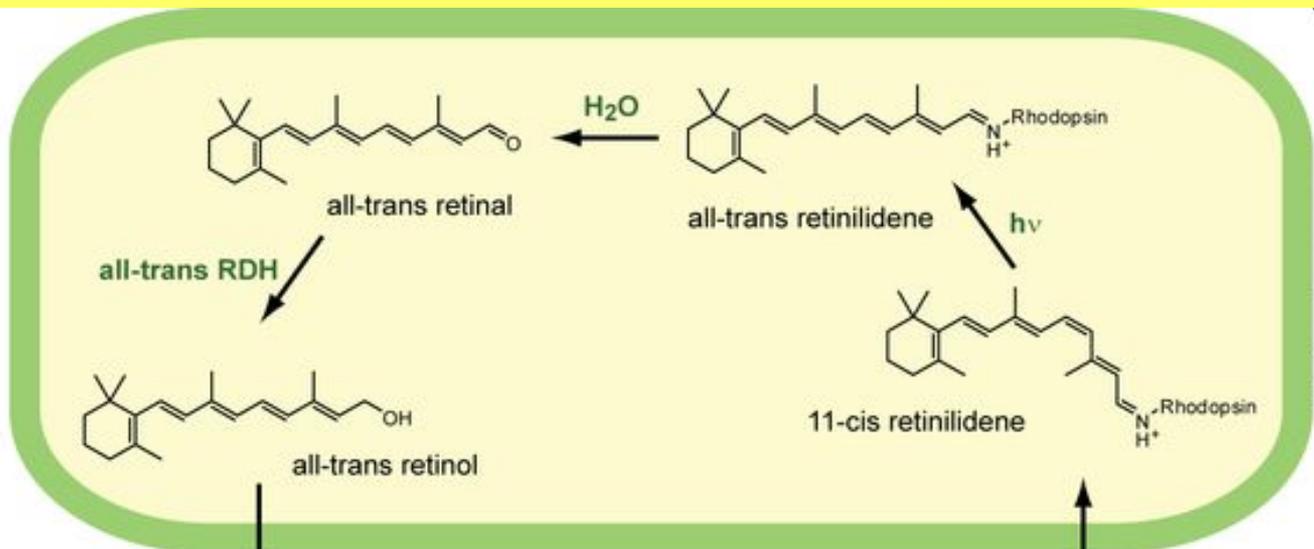
При попадании света на сетчатку глаза происходит изомеризация цис-ретиная в транс-ретиналь. В результате взаимодействия между полиеновой системой и белком нарушаются и разрывается альдиминная связь.

Родопсин + $h\nu$ → Опсин + транс-Ретиналь

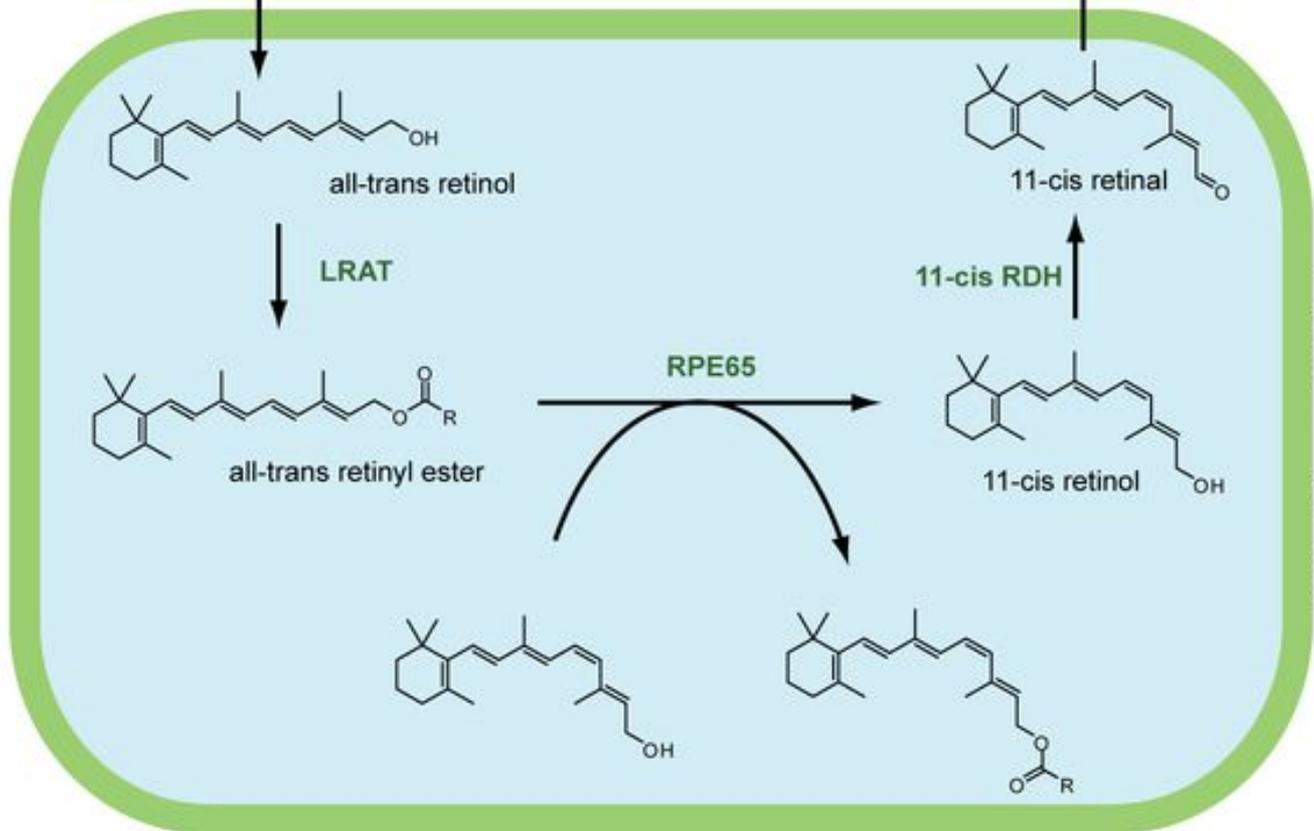
Витамин А

Изменяется конформация опсина, в результате возникает трансмембранный потенциал, который через аксоны палочек преобразуется в нервный импульс. Последующая регенерация требует превращения 11-транс-ретинала в 11-цис-ретиаль. Протекает в темноте и на свету с участием ферментов. Далее цис-ретиаль вновь образует комплекс с опсином.

Rod outer segment

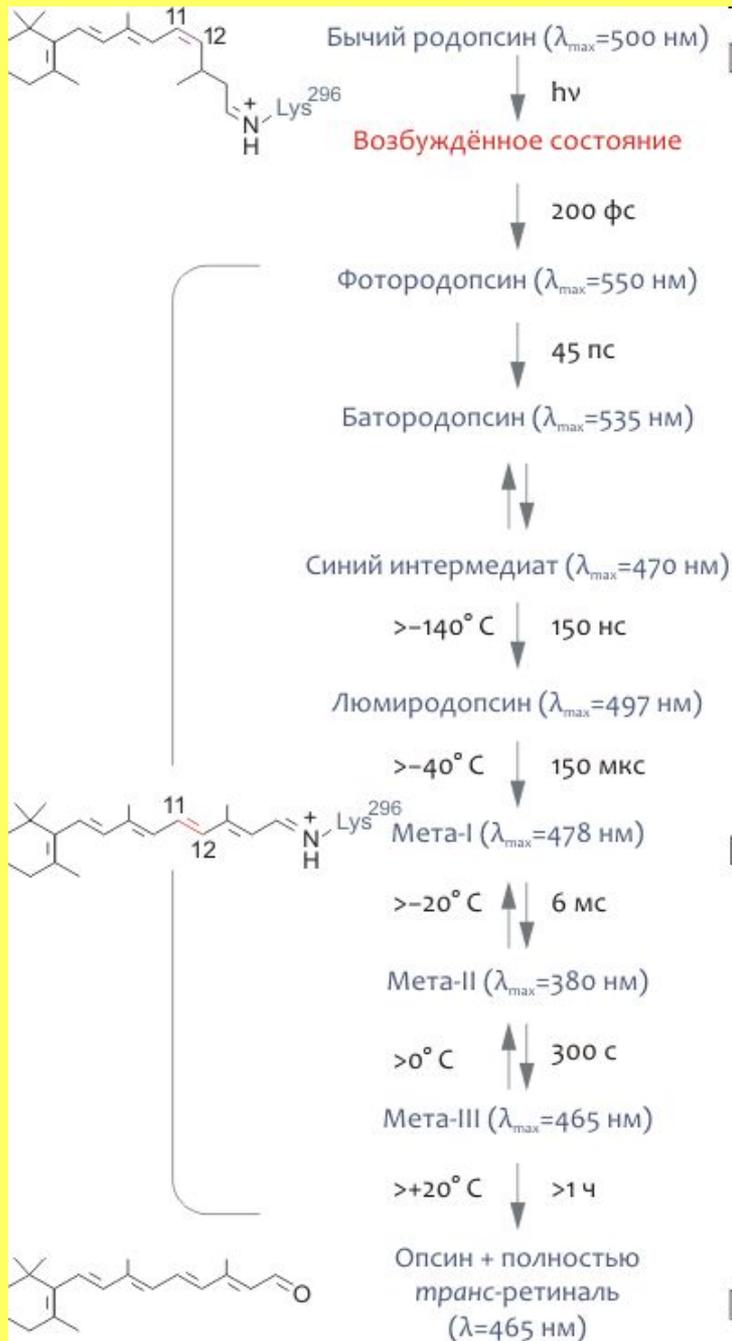


Retinal Pigment Epithelium



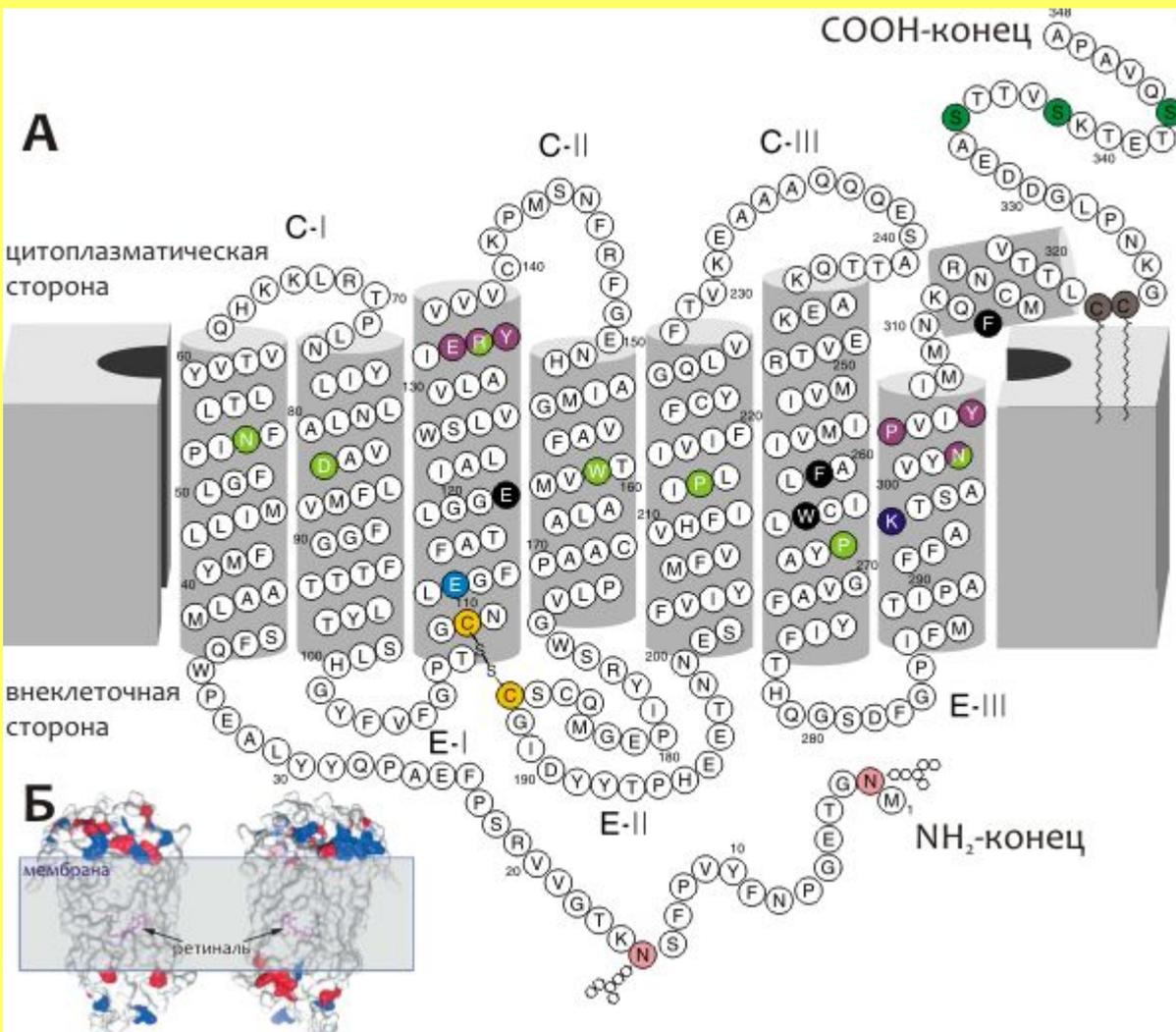
При поглощении фотона молекула родопсина меняет цвет, что связано с фотоизомеризацией 11-цис-ретинала в полностью *транс*-форму и смещением максимума спектра поглощения рецептора с 498 нм до 380 нм. В конце концов, Шиффово основание гидролизуется и полностью *транс*-ретиналь выделяется в цитоплазматическую среду. Изменение спектральных характеристик родопсина, следующее за поглощением кванта света, объясняется конформационными перестройками, вызванными изомеризацией ретинала. В большом количестве спектроскопических экспериментов с охлаждением родопсина до очень низких температур был выделен ряд промежуточных его состояний, что позволило охарактеризовать последовательность фотопревращений родопсина следующим образом:

- 1. Ещё до начала каких-либо структурных перестроек родопсина энергия света аккумулируется молекулой хромофора в сильно искажённой полностью *транс*-форме, расположенной в том же белковом сайте связывания, где находится 11-*цис*-ретиаль в темноте. «Напряжённая» конформация изомеризованного хромофора трансформирует свою энергию в дальнейшие конформационные изменения родопсина.**
- 2. Фотоизомеризация хромофора чрезвычайно быстра и занимает всего 200 фс.**
- 3. Состояние мета-I является переходным и довольно быстро превращается в мета II, являющееся «главным действующим лицом» биохимического каскада зрения.**
- 4. Фотоинтермедиат мета-II — физиологически и биохимически наиболее важное промежуточное состояние родопсина, поскольку именно оно ответственно за взаимодействие с примембранными белками, среди которых можно назвать и трансдуцин.**
- 5. Опсин спонтанно рекомбинирует с 11-*цис*-ретиалем, возвращаясь в «темновую» форму родопсина. В отличие от опсина, родопсину не свойственна «базальная» активность (т.е., в «темновой» форме он не имеет сродства к G-белку (трансдуцину)). Это обстоятельство определяет очень низкий активационный порог для клеток-«палочек» (или, что то же, высокую чувствительность).**



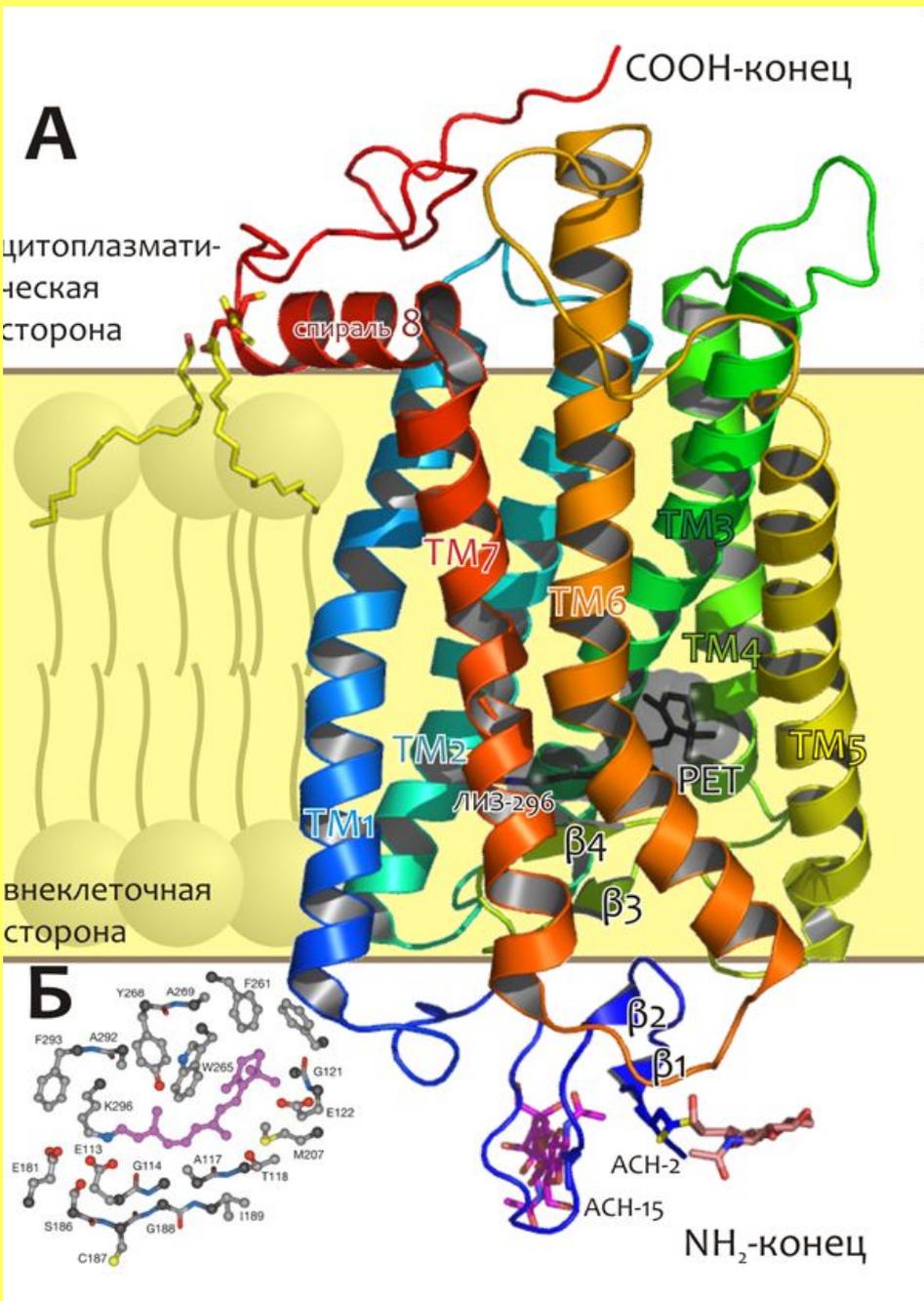
Фотоцикл родопсина. Поглощение кванта света с длиной волны, близкой к 500 нм, приводит к чрезвычайно быстрой (200 фс) изомеризации ковалентно связанного хромофора 11-*цис*-ретиноля в полностью *транс*-форму. Как следствие, родопсин претерпевает ряд быстрых конформационных перестроек, различимых спектроскопически, и в результате превращается в сравнительно долгоживущий метародопсин-II, или мета-II, существующий в равновесии с мета-I формой. В итоге фотопревращений родопсина, полностью *транс*-ретиноаль выделяется в цитоплазму, восстанавливается до полностью *транс*-ретинола (при участии ряда ретинол дегидрогеназ) и конвертируется обратно в 11-*цис*-ретиноаль в клетках пигментного эпителия под действием специальных ферментов (так называемый ретиноидный цикл). «Восстановленный» хромофор может спонтанно рекомбинировать с опсином, превращаясь в «темновую» форму родопсина. На рисунке справа от стрелок указаны характерные времена того или иного превращения, а слева — максимальные температуры, при которых фотоинтермедиат удавалось наблюдать *in vitro*. В скобках указаны максимумы соответствующих спектров поглощения

Полная аминокислотная последовательность родопсина была определена в 1982 году в Институте биоорганической химии АН СССР Ю. А. Овчинниковым и сотр. и несколько позже подтверждена анализом структурного гена родопсина Д. Хоггнесом и Дж. Натансом в США. Было показано, что в последовательности родопсина длиной 348 аминокислотных остатков присутствует семь протяжённых участков, состоящих из неполярных аминокислотных остатков, образующих трансмембранные (ТМ) α -спирали, соединенные вне- и внутриклеточными участками-«петлями». При этом N-конец находится во внеклеточной области, а С-конец — в цитоплазматической. Такая топология рецептора была подтверждена ограниченным протеолизом белка в составе нативной мембраны, обработкой моноклональными антителами и химической модификацией проникающими и непроникающими агентами. Также было установлено место прикрепления кофактора: ретиналь связывается альдиминной связью с остатком ЛИЗ-296, находящимся в седьмой (последней) ТМ α -спирали.



Трансмембранная топология родопсина. А. «Двумерная» модель родопсина, объясняющая способ его упаковки в мембране. С-I–СIII и E-I–EIII — цитоплазматические и внеклеточные петлевые участки, соответственно. Трансмембранный домен образован α -спиралями (серые цилиндры), геометрия многих из которых отклоняется от «идеальной». Стабильность ТМ-пучка усиливается консервативной во многих GPCR-рецепторах дисульфидной связью между остатками цистеина в ТМ3 и E-II (показаны золотым). Хромофор — 11-*цис*-ретиноль — не изображён на рисунке; он присоединяется к остатку ЛИЗ-296 в ТМ7 (показан фиолетовым) через протонированное Шиффово основание. Положительный заряд этой альдиминной связи нейтрализуется остатком глутаминовой кислоты ГЛЮ-113 (показан голубым).

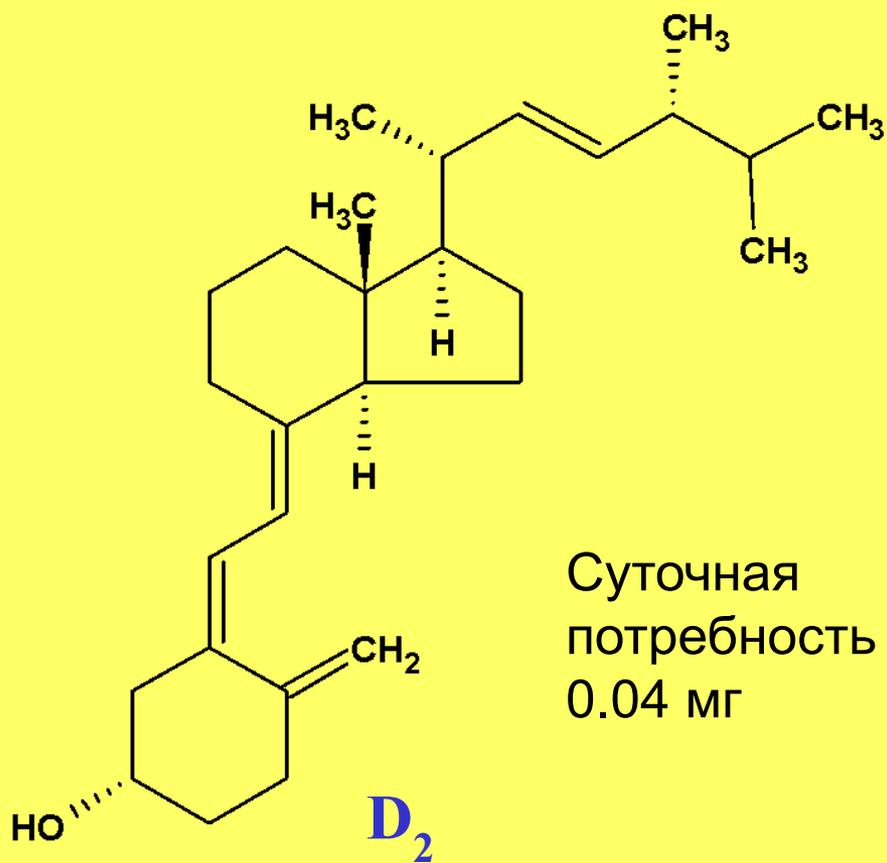
Остатки аспарагина АСН-2 и АСН-15 (показаны розовым) гликозилированы ГЛЮ-N-Ац-(β 1,4)-ГЛЮ-N-Ац-(β 1,4)-МАН (ГЛЮ — глюкоза, МАН — манноза); МЕТ-1 ацетилирован. Два остатка цистеина в примембранной спирали 8 (показаны коричневым) пальмитоилированы. Три остатка серина в С-конце рецептора, фосфорилирующиеся в процессе фотоактивации родопсина, показаны темно-зеленым. Эти остатки в фосфорилированной форме отвечают за взаимодействие с белком аррестином, отвечающим за инактивацию и десенсибилизацию родопсина.



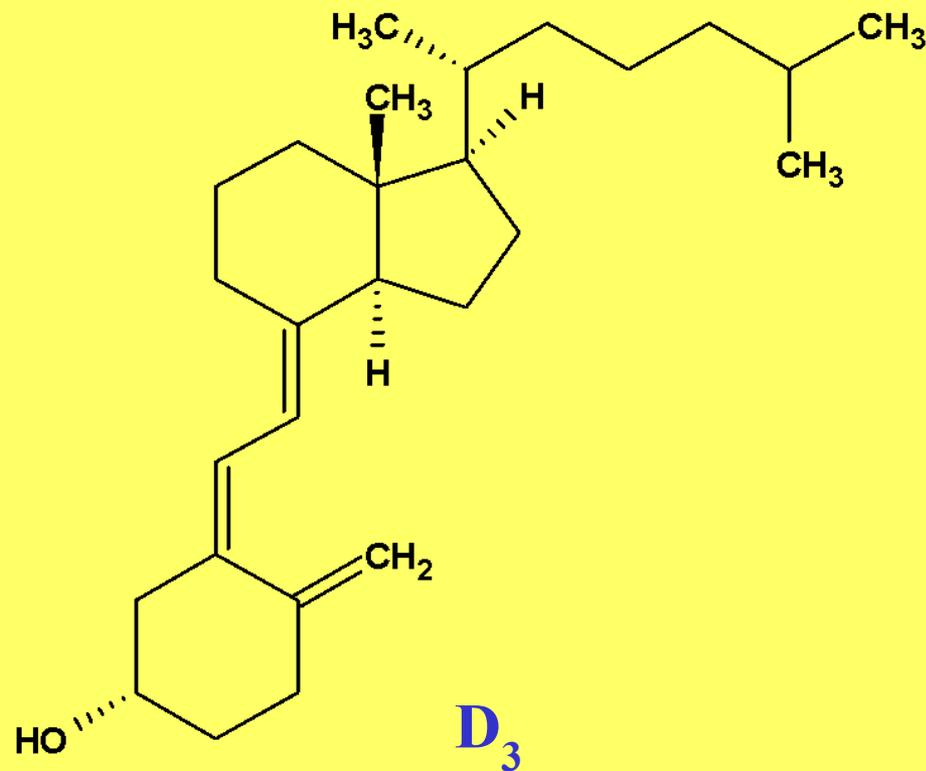
Пространственная структура родопсина была впервые определена в 2000 году с помощью метода рентгеновской кристаллографии, и в последствии несколько раз уточнялась. До сих пор она остаётся единственной трехмерной структурой GPCR-рецептора, экспериментально полученной с высоким разрешением. Структуры других белков этого семейства до сих пор неизвестны,

ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин D - антирахитический



Суточная
потребность
0.04 мг

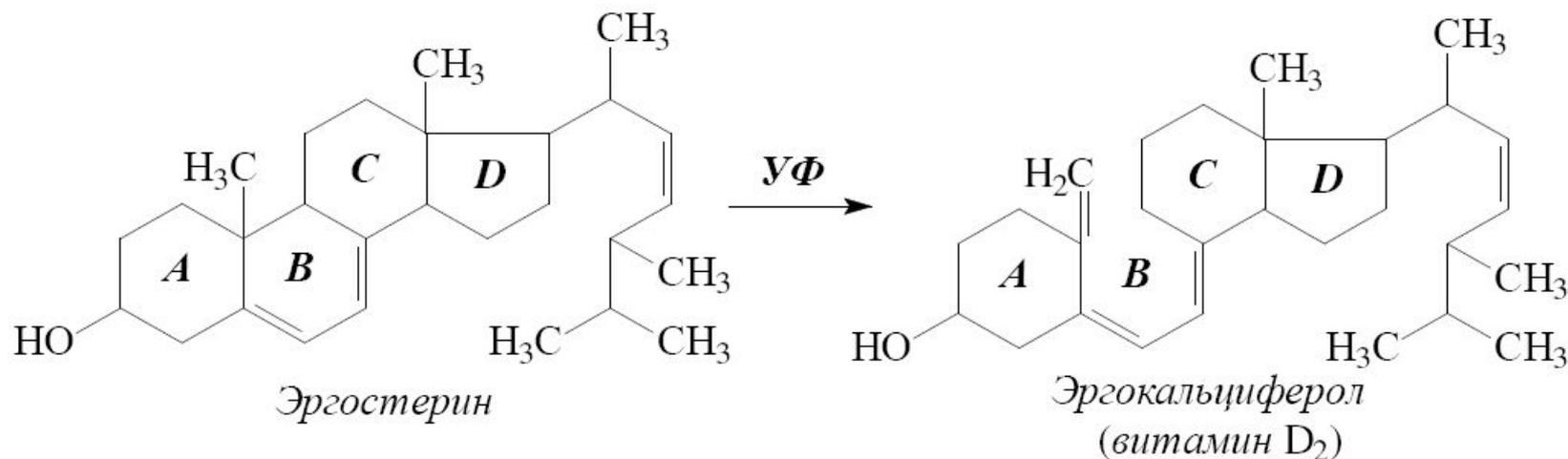


ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.4. Содержание витамина D в некоторых продуктах питания

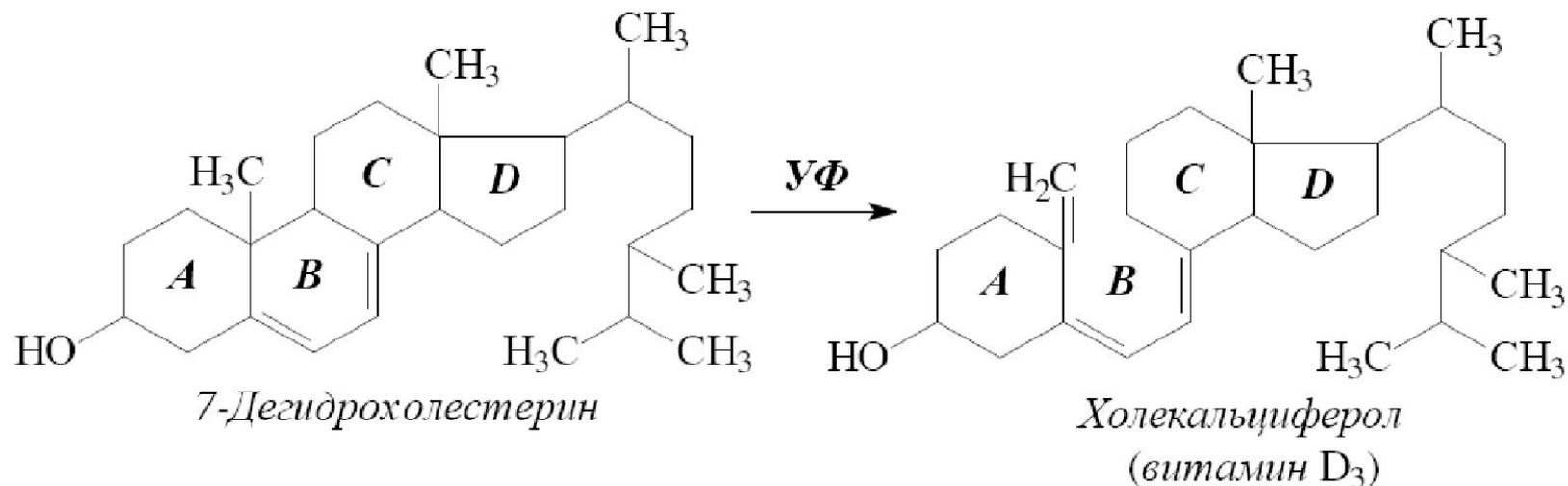
Продукт	Содержание витамина D, мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина D, мкг на 100 г
Рыбий жир	300,0	Карп	1,78
Сельдь	27,0	Шампиньоны	1,60
Лосось	17,0	Свиная печень	1,13
Яичный желток	4,75	Щука	1,10
Форель	4,50	Треска	1,0
Тунец	3,20	Сливочное масло	1,0
Белые грибы	3,0	Молоко	0,06

Витамин D - антирахитический



Эргокальциферол - вещество, регулирующее обмен кальция и фосфора. Если витамина D не хватает, то из организма выводится большое количество солей кальция и фосфора. Костная ткань, которая является почти единственным местом их накопления, начинает быстро терять эти элементы. При этом кости становятся мягкими, искривляются и легко ломаются.

Витамин D - антирахитический



В животных организмах холекальциферол синтезируется под действием УФ-света в кожных покровах. Усиливает всасывание кальция в кишечнике и реабсорбцию фосфора в почечных канальцах, нормализует формирование костного скелета и зубов у детей, способствует сохранению структуры костей. Повышает проницаемость клеточных и митохондриальных мембран кишечного эпителия, облегчая чрезмембранный транспорт катионов кальция и других двухвалентных катионов, активирует вторичное всасывание фосфатов, увеличивает захват этих ионов костной тканью.

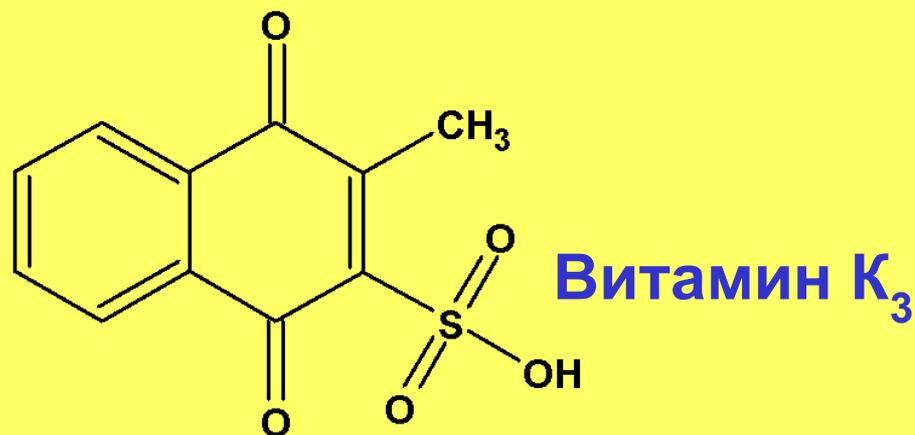
Витамин D - антирахитический



Чувствительность кожи к УФ-облучению может значительно возрасти под действием определенных веществ – сенсibilизаторов.

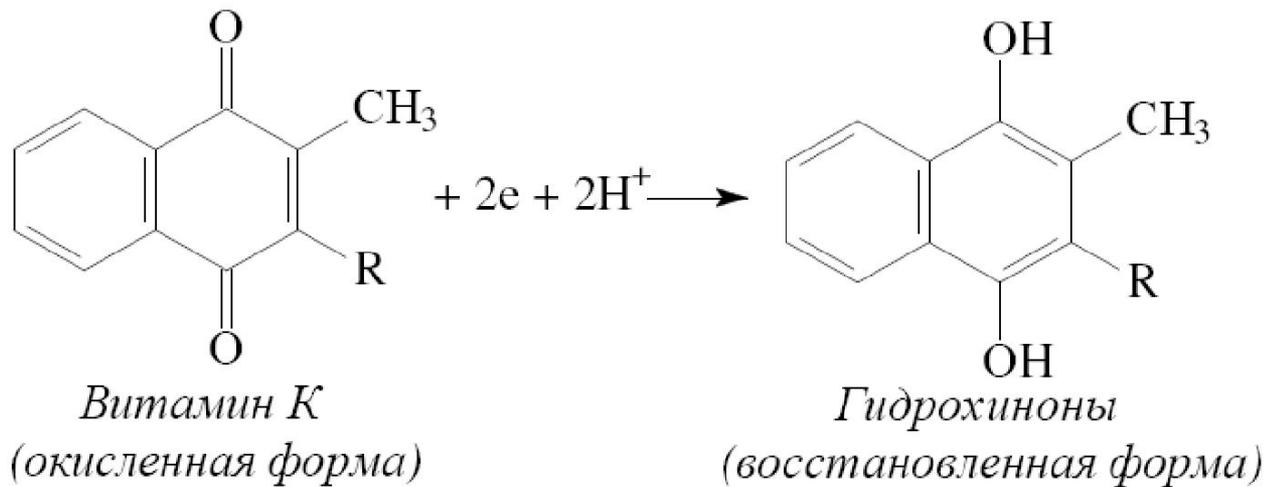
ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин К - антигеморрагический



В природе найдены только два витамина группы К: выделенный из люцерны витамин К1 и выделенный из гниющей рыбной муки К2. Кроме природных витаминов К, в настоящее время известен ряд производных нафтохинона, обладающих антигеморрагическим действием, которые получены синтетическим путем. К их числу относятся следующие соединения: Витамин К3, (2-метил-1,4-нафтохинон), Витамин К4 (2-метил-1,4-нафтогидрохинон), Витамин К5 (2-метил-4-амино-1-нафтогидрохинон), Витамин К6 (2-метил-1,4-диаминонафтохинон), Витамин К7 (3-метил-4-амино-1-нафтогидрохинон)

Витамин К



**Способствует
биосубстратов
радикалы.**

**и
мягкому
связывает**

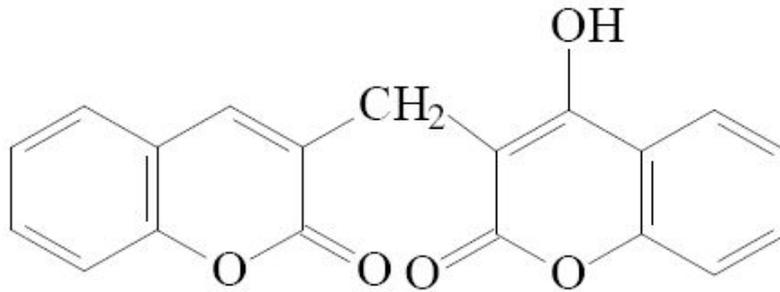
**окислению
свободные**

Витамин К

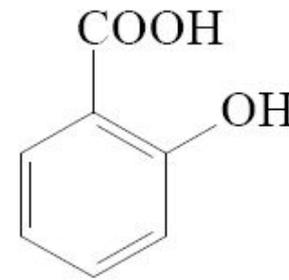
Таблица 3.5. Содержание витамина К в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина К, мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина К, мкг на 100 г
Квашеная капуста	1540,0	Яичный желток	45,0
Сок квашеной капусты	1409,40	Картофель	40,50
Куриная печень	590,0	Морковь	39,80
Подсолнечное масло	500,0	Свиная печень	30,0
Шпинат	340,0	Фасоль	23,30
Пророщенная пшеница	300,0	Говядина	18,90
Соевые бобы	190,0	Телятина	18,50
Цветная капуста	186,0	Свинина	16,70
Зеленый салат	170,0	Земляника	13,0
Капуста	137,50	Шампиньоны	12,0
Овсяные хлопья	50,0	Помидоры	9,50
Творог	50,0	Молоко	4,0

Витамин К



Дикумарол



*Салициловая
кислота*

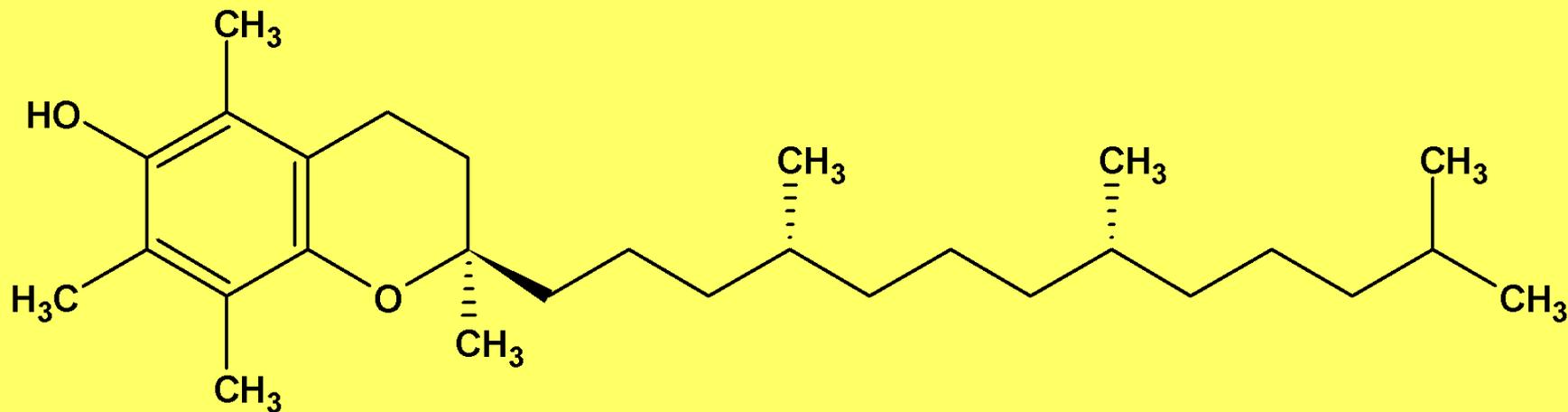
Структурные аналоги витамина К являются конкурентными ингибиторами процессов с его участием.

Витамин К

Дефицит витамина К может развиваться из-за нарушения усвоения пищи в кишечнике (такие как закупорка желчного протока), из-за терапевтического или случайного всасывания антагонистов витамина К, или, очень редко, дефицитом витамина К в рационе. В результате приобретенного дефицита витамина К Gla-радикалы (остатки гамма-карбоксилглутаминовой кислоты) формируются не полностью, вследствие чего Gla-белки не в полной мере выполняют свои функции. Вышеописанные факторы могут привести к следующему: обильные внутренние кровоизлияния, окостенение хрящей, серьёзная деформация развивающихся костей или отложения солей на стенках артериальных сосудов. В то же время переизбыток витамина К способствует увеличению тромбоцитов, увеличению вязкости крови, и как следствие крайне нежелательно употребление продуктов богатых витамином К для больных варикозом, тромбофлебитом, некоторыми видами мигреней, людям с повышенным уровнем холестерина (так как формирования тромбов начинается с утолщения артериальной стенки вследствие формирования холестериновой бляшки).

ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин Е (токоферол)



Суточная потребность 2-6 мг. Один из самых мощных природных антиоксидантов.

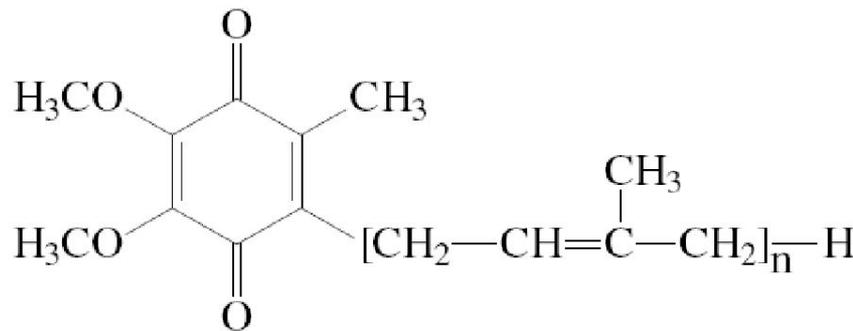
ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.6. Содержание витамина Е в некоторых продуктах питания

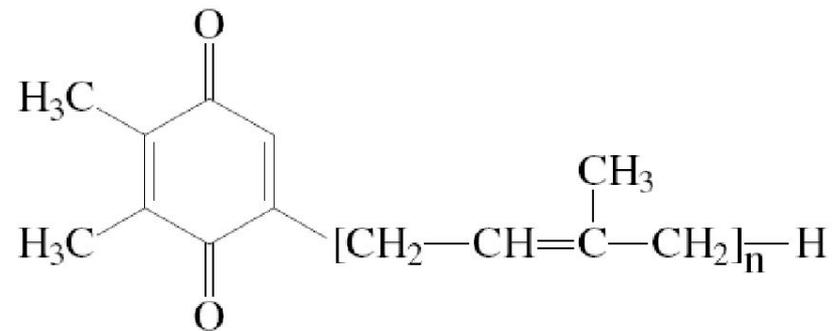
Продукт	Содержание витамина Е, мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина Е, мг на 100 г
Подсолнечное масло	55,80	Сливочное масло	2,20
Кукурузное масло	30,90	Спаржа	2,10
Лесные орехи	26,0	Авокадо	1,65
Миндаль	25,0	Соевые бобы	1,55
Грецкие орехи	20,0	Лосось	1,20
Рыбий жир	20,0	Пророщенная пшеница	1,10
Соевое масло	14,60	Малина	0,50
Оливковое масло	12,0	Куриное мясо	0,14
Яичный желток	3,60		

Витаминоподобные жирорастворимые вещества

Убихинон (кофермент Q, КоQ)



Убихинон (n = 6 - 10)

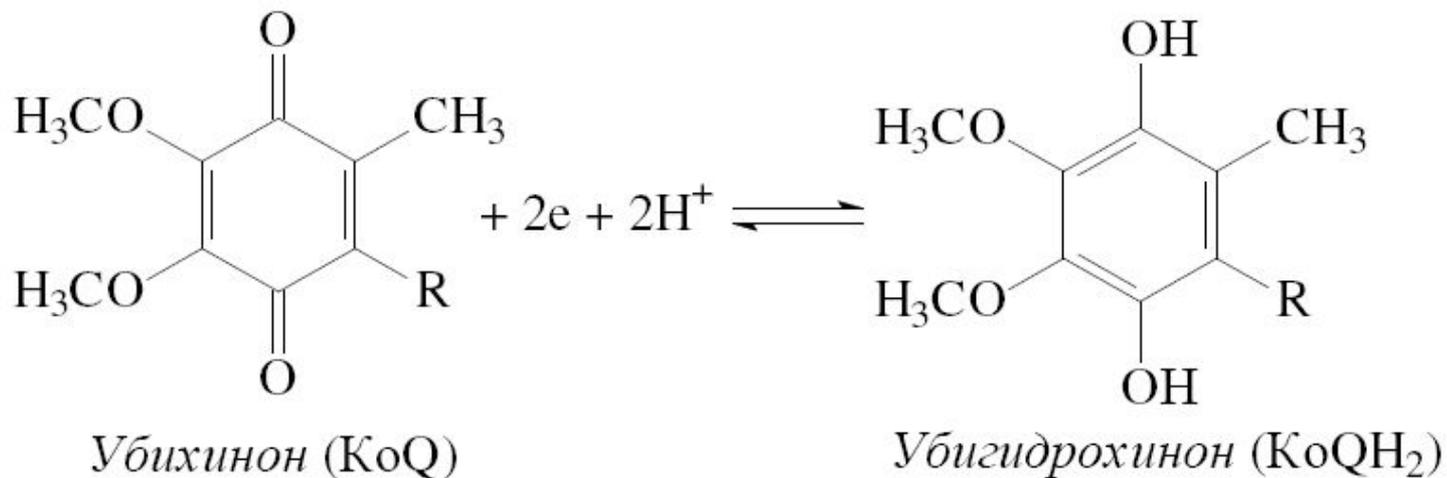


Пластохинон

Содержание кофермента Q в различных продуктах

Продукт	Количество продукта, г	Содержание кофермента Q, мг
Говядина жареная	100	3,1
Сельдь маринованная	100	2,7
Цыпленок жареный	100	1,6
Соевое масло	15	1,3
Радужная форель, на пару	100	1,1
Арахис жареный	100	2,8
Кунжут жареный	100	2,5
Фисташки жареные	100	2,1
Брокколи вареная	100	0,5
Цветная капуста вареная	100	0,4
Апельсин	150	0,3
Клубника	100	0,1
Яйцо вареное	100	0,1

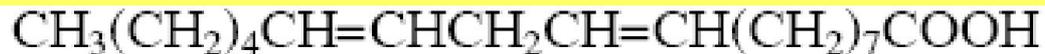
Витаминоподобные жирорастворимые вещества



В митохондриях присутствует только убихинон с 10 изопреноидными остатками, т.е. KoQ₁₀. KoQ₁₀ является обязательным компонентом дыхательной цепи. Пластохинон выполняет аналогичную функцию в процессе фотосинтеза.

Витаминоподобные жирорастворимые вещества

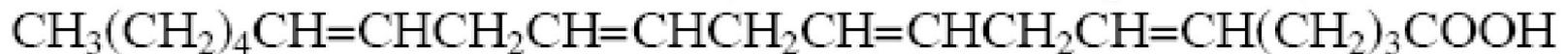
Витамин F – совокупность ненасыщенных жирных кислот – линолевой, линоленовой и арахидоновой, которые не синтезируются в тканях организма, но необходимы для нормальной жизнедеятельности.



Линолевая кислота (*цис-цис-9,12*-октадекадиеновая)



Линоленовая кислота (*9,12,15*-октадекатриеновая)



Арахидоновая кислота (*5,8,11,14*-эйкозатетраеновая)

линолевая кислота (омега-6) В виде триглицерида линолевая кислота в значительных количествах (до 40—60 %) входит в состав многих растительных масел и животных жиров, например соевого, хлопкового, подсолнечного, льняного, конопляного масел, китового жира.

линоленовая кислота (омега-3) В виде триглицерида содержится во многих растительных маслах, например, в льняном (до 30 %), перилловом (до 55 %), конопляном, соевом и др.

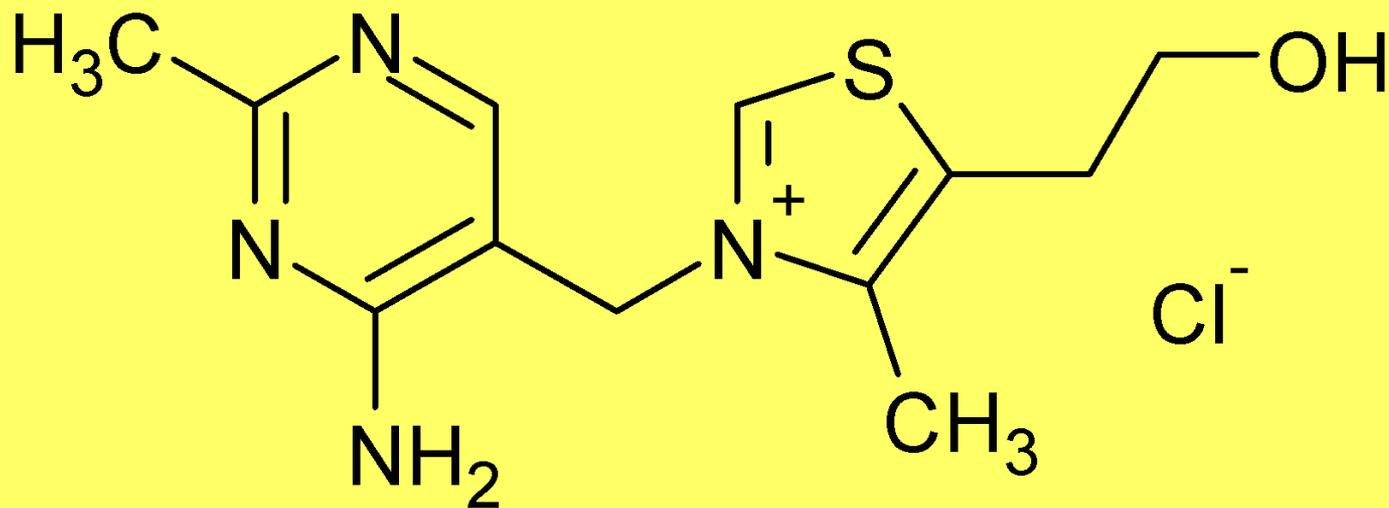
арахидоновая кислота (омега-6) В составе липидов арахидоновая кислота присутствует в мозге, печени и молочном жире млекопитающих. В фосфолипидах надпочечников арахидоновая кислота составляет около 20 % от суммы жирных кислот. При гидрировании арахидоновая кислота образует арахиновую кислоту, встречающуюся в маслах бобовых растений, в частности — арахиса

эйкозапентаеновая кислота (омега-3) Один из главных компонентов комплексных липидов. Большое количество ЭПК содержится в рыбных жирах, морских моллюсках, диатомовых и бурых водорослях.

докозагексаеновая кислота (омега-3) входит в состав липидов большинства тканей животных. Один из главных компонентов комплексных липидов. Большое количество ДГК содержится в рыбных жирах, зоопланктоне, морских моллюсках, динофитовых микроводорослях.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин В₁ - антиневритный



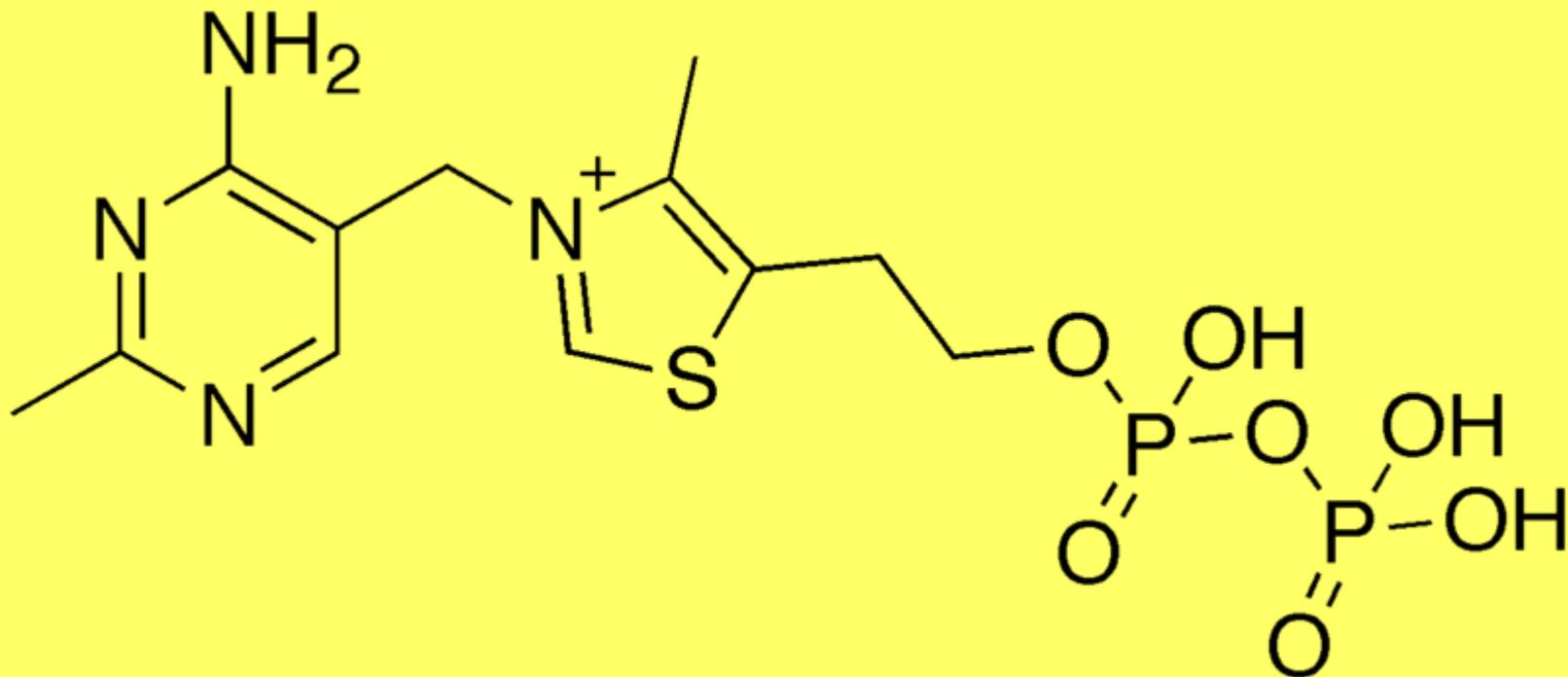
Тиамин хлорид. Суточная потребность 1.5-2.0 мг

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.7. Содержание витамина В₁ в некоторых продуктах питания

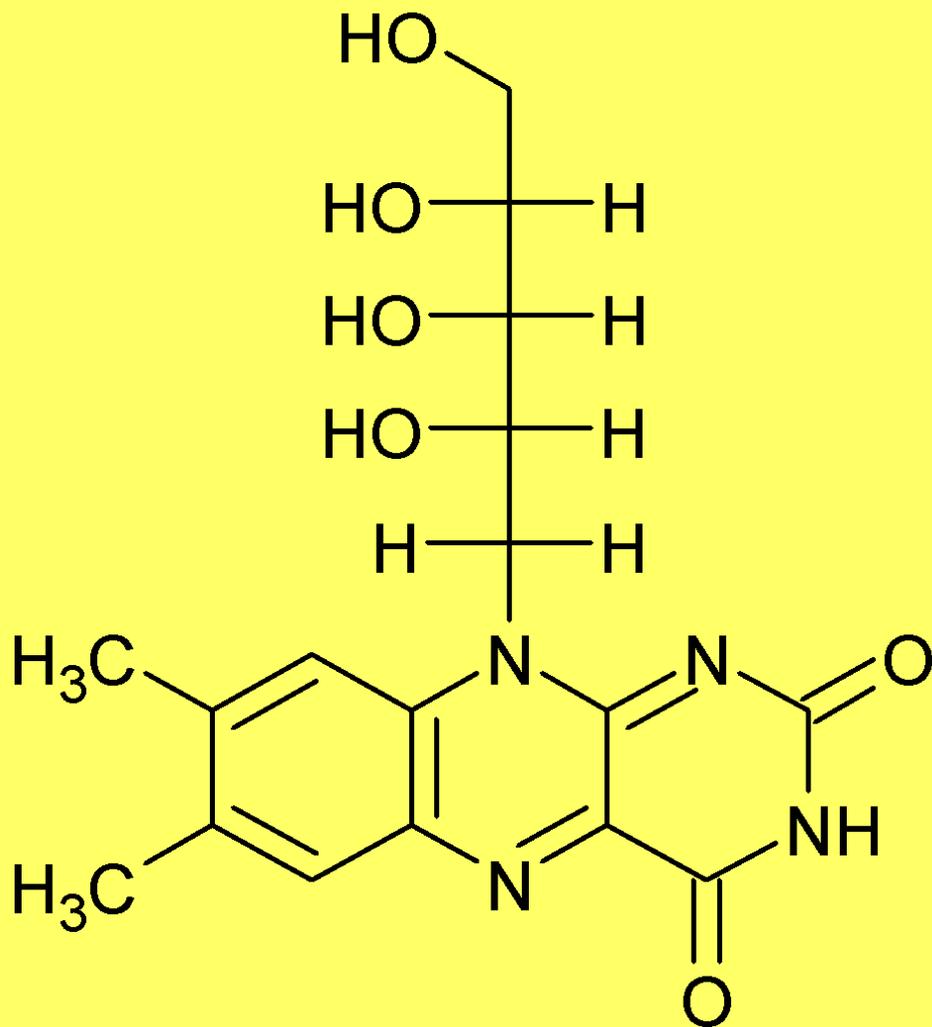
Продукт	Содержание витамина В ₁ , мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₁ , мг на 100 г
Пророщенная пшеница	2,0	Говяжья печень	0,28
Семена подсолнечника	1,96	Сушеный инжир	0,21
Дрожжи	1,0	Говядина	0,18
Свинина	0,84	Чечевица	0,17
Пшено	0,73	Соевые бобы	0,10
Арахис	0,63	Картофель	0,09
Овес в зернах	0,59	Цветная капуста	0,09
Зеленый горошек	0,32	Форель	0,04
Свиная печень	0,30	Морской окунь	0,04

Фосфорилированная форма тиаминдифосфат (ТДФ) является простетической группой ряда ферментов. Медицинский препарат ТДФ – кокарбоксилаза. ТДФ входит в состав пируватдегидрогеназного комплекса, необходим для всех процессов с участием НАДФ.



Бері-бері — это болезнь, которая вызвана недостатком витамина В₁ в организме человека (авитаминоз В₁). Витамин В₁ способствует нормальному протеканию процессов углеводного и жирового обмена. Его дефицит приводит к накоплению в крови человека пировиноградной кислоты и её повышенной концентрации в нервной системе. Последствием такого биохимического нарушения обмена веществ является энцефалопатия Вернике (острое поражение среднего мозга) или полиневрит (поражения нервной системы), такое состояние возникает у людей питающихся преимущественно рисом лишенным оболочки и некоторыми видами других зерновых культур. В современном обществе заболевание встречается редко, в связи с тем что с пищей поступает достаточное количество тиамина.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ



Витамин В₂

Рибофлавин

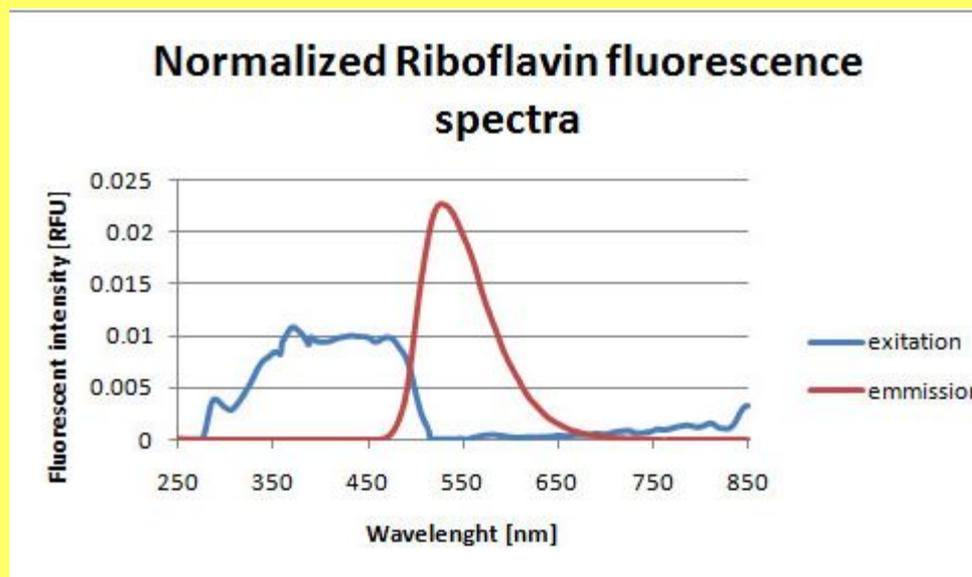
Витамин роста

Суточная потребность
2.0-2.5 мг

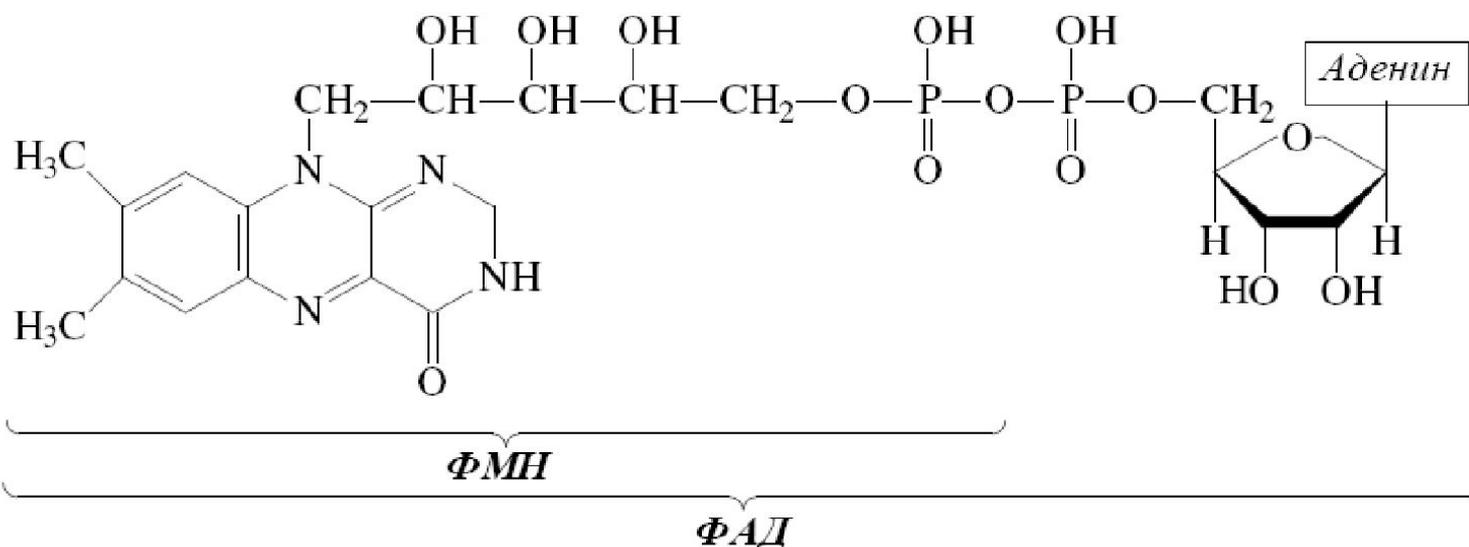
Рибофлавин



Рибофлавин

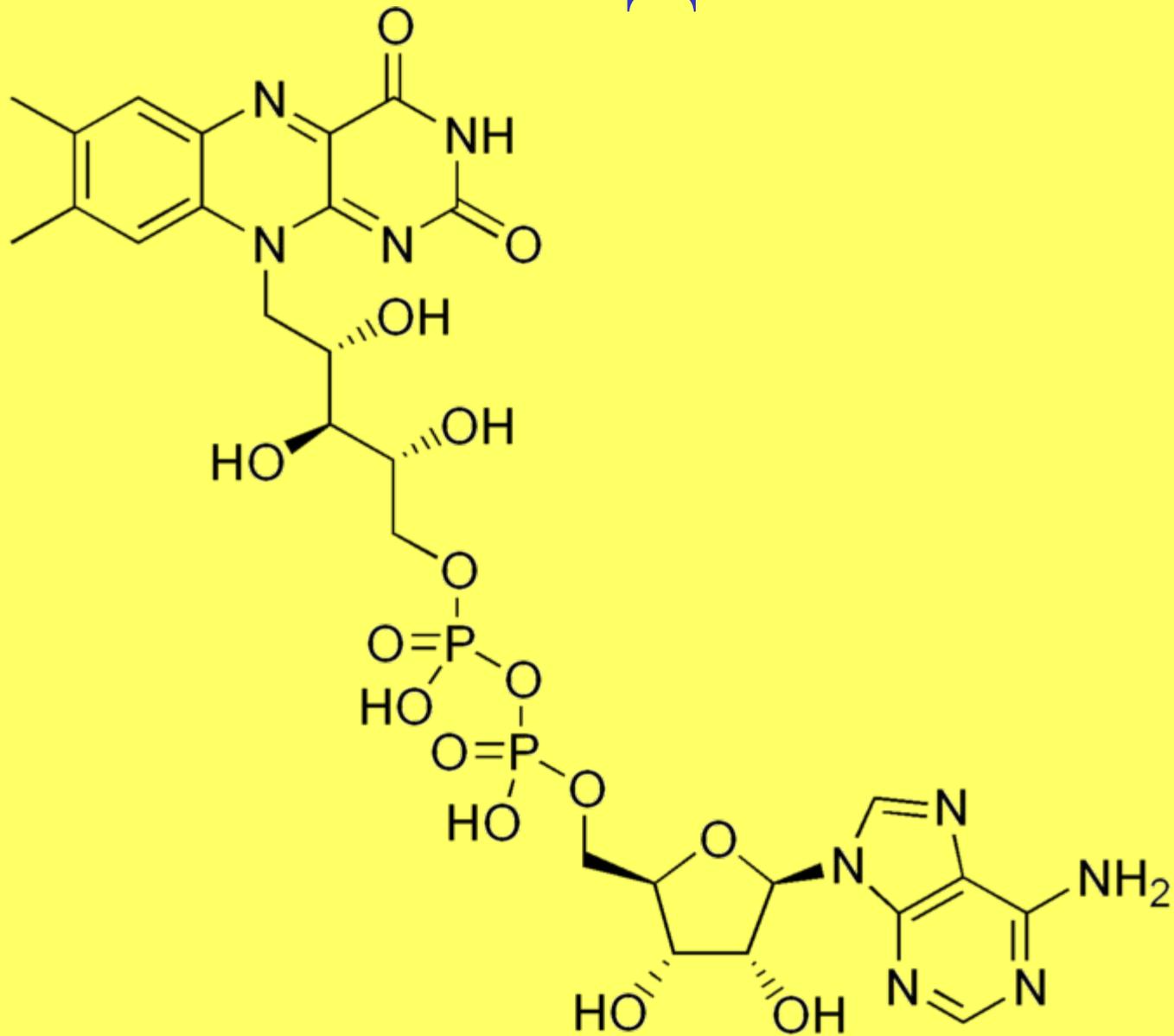


Коферментные производные рибофлавина

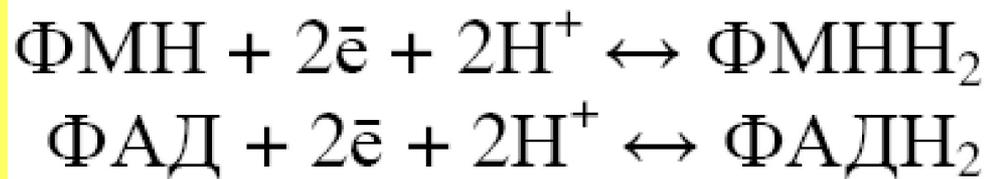
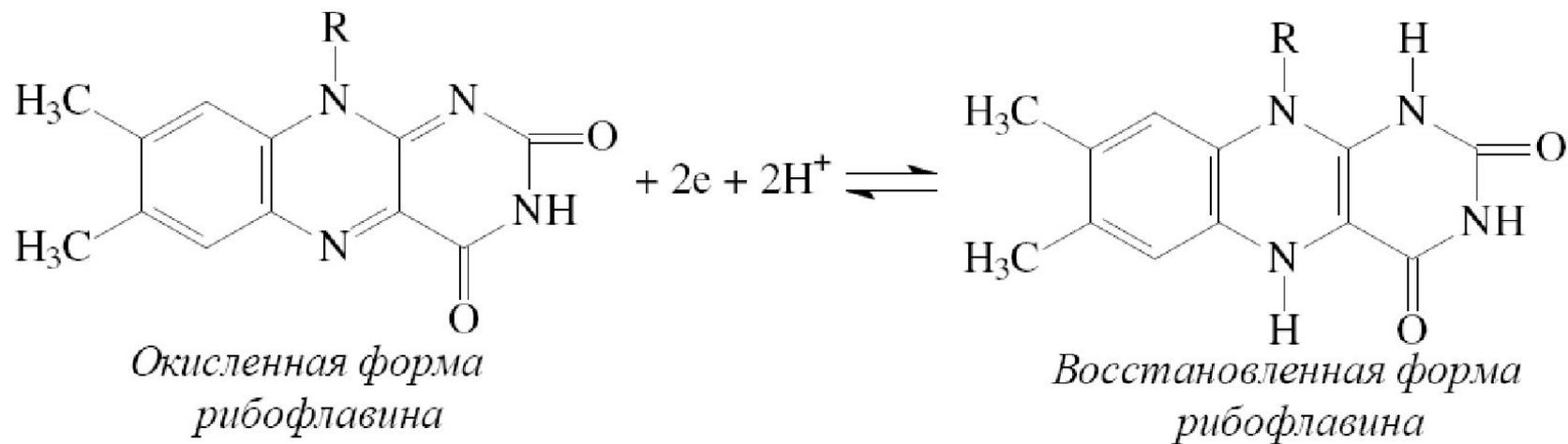


**Флавиномононуклеотид (ФМН) и
флавинадениндинауклеотид (ФАД) являются
простетическими группами флавопротеинов.**

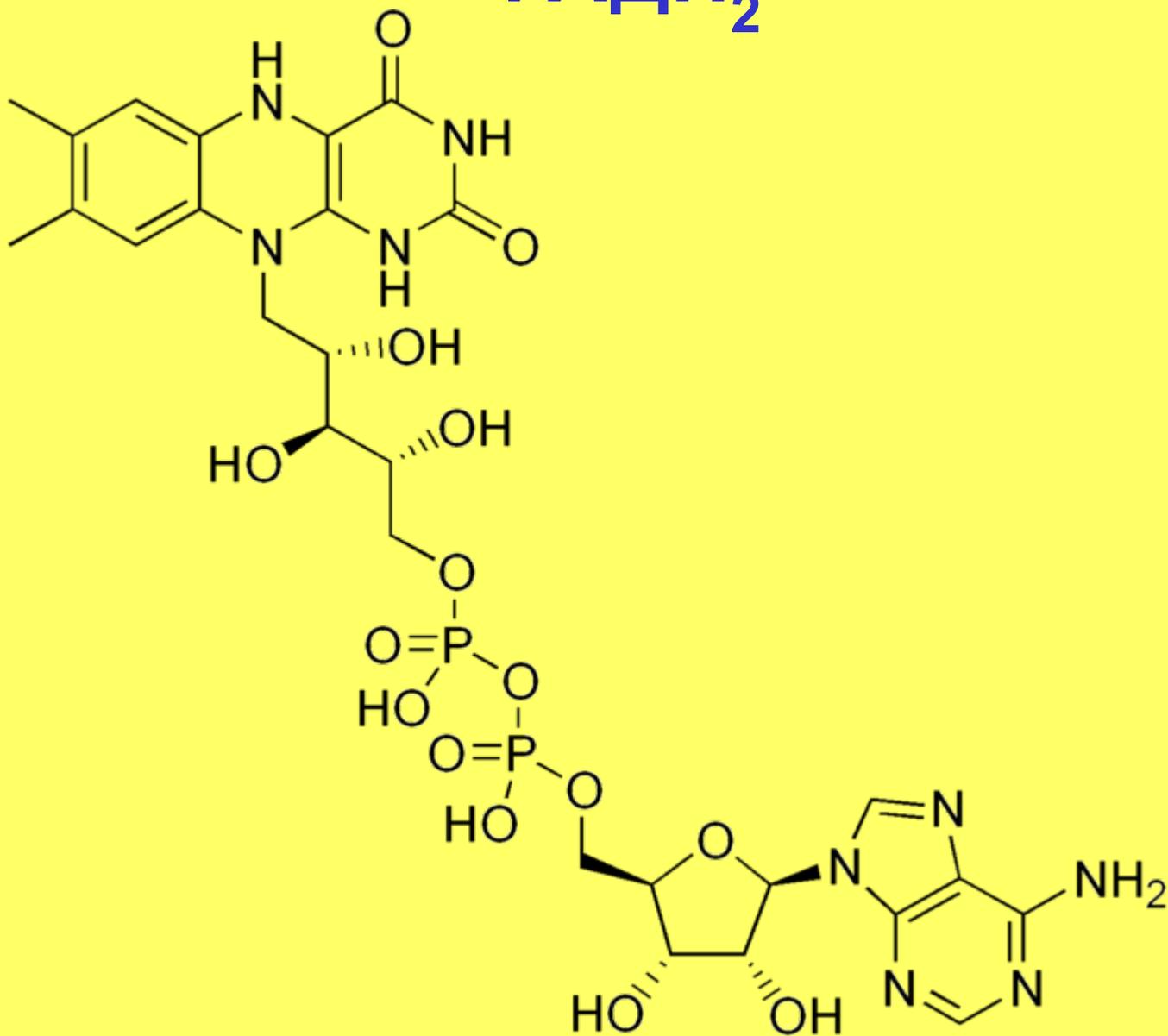
ФАД



ФМН ФАД катализируют реакции окисления веществ в клетках



ФАДН₂



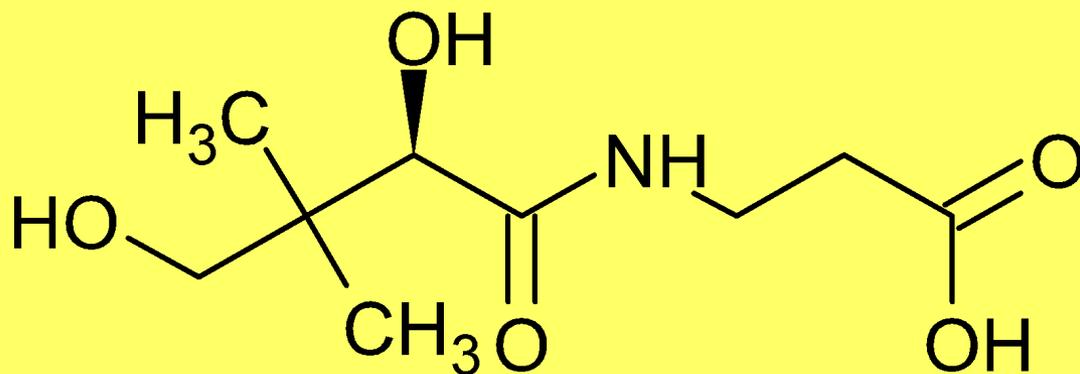
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.8. Содержание витамина В₂ в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина В ₂ , мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₂ , мг на 100 г
Свиная печень	3,10	Телятина	0,25
Говяжья печень	3,0	Свинина	0,22
Телячья печень	3,0	Говядина	0,22
Куриная печень	2,50	Шпинат	0,20
Дрожжи	2,0	Йогурт	0,19
Шампиньоны	0,35	Молоко	0,17
Яйца	0,32	Лосось	0,16
Белые грибы	0,30	Авокадо	0,14
Творог	0,28	Капуста	0,14

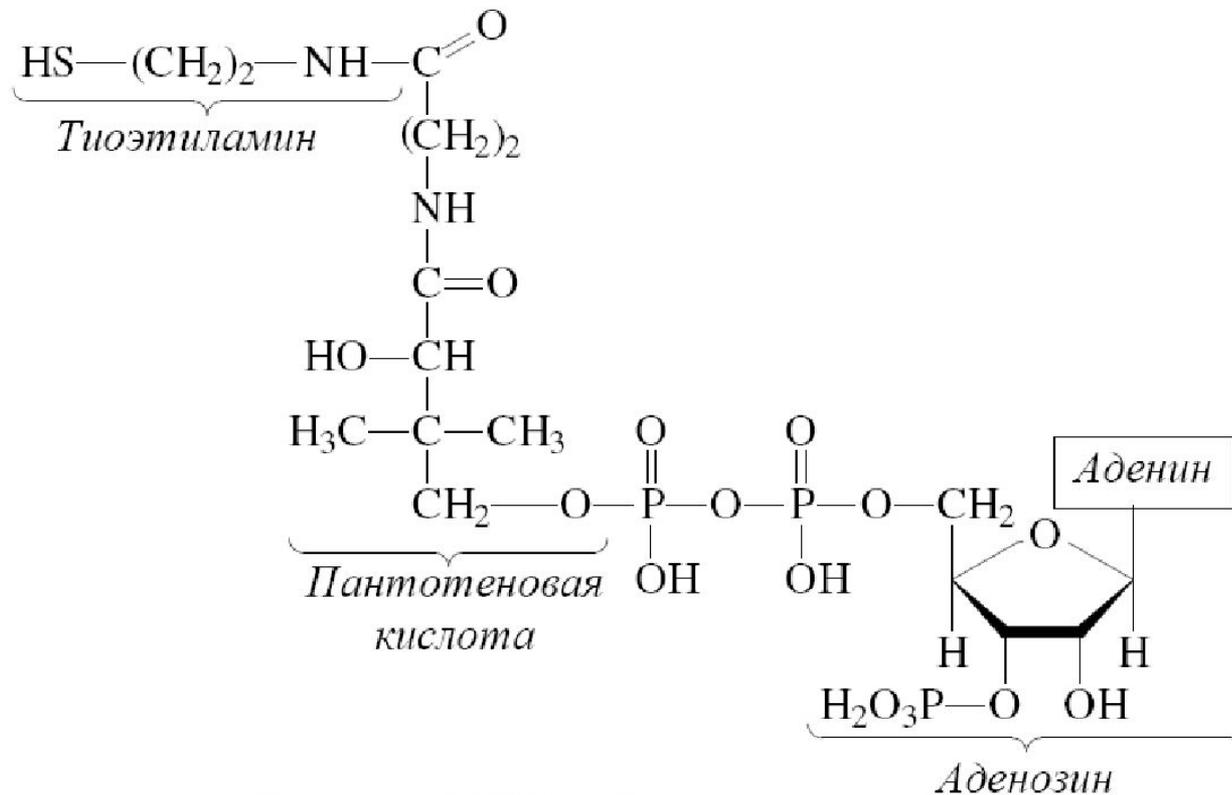
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин В₃ пантотеновая кислота



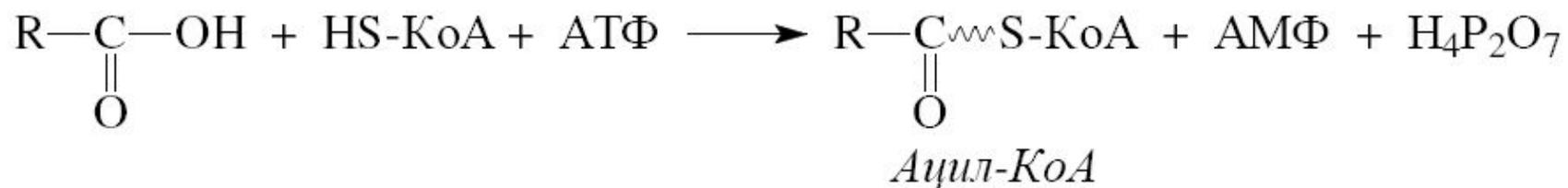
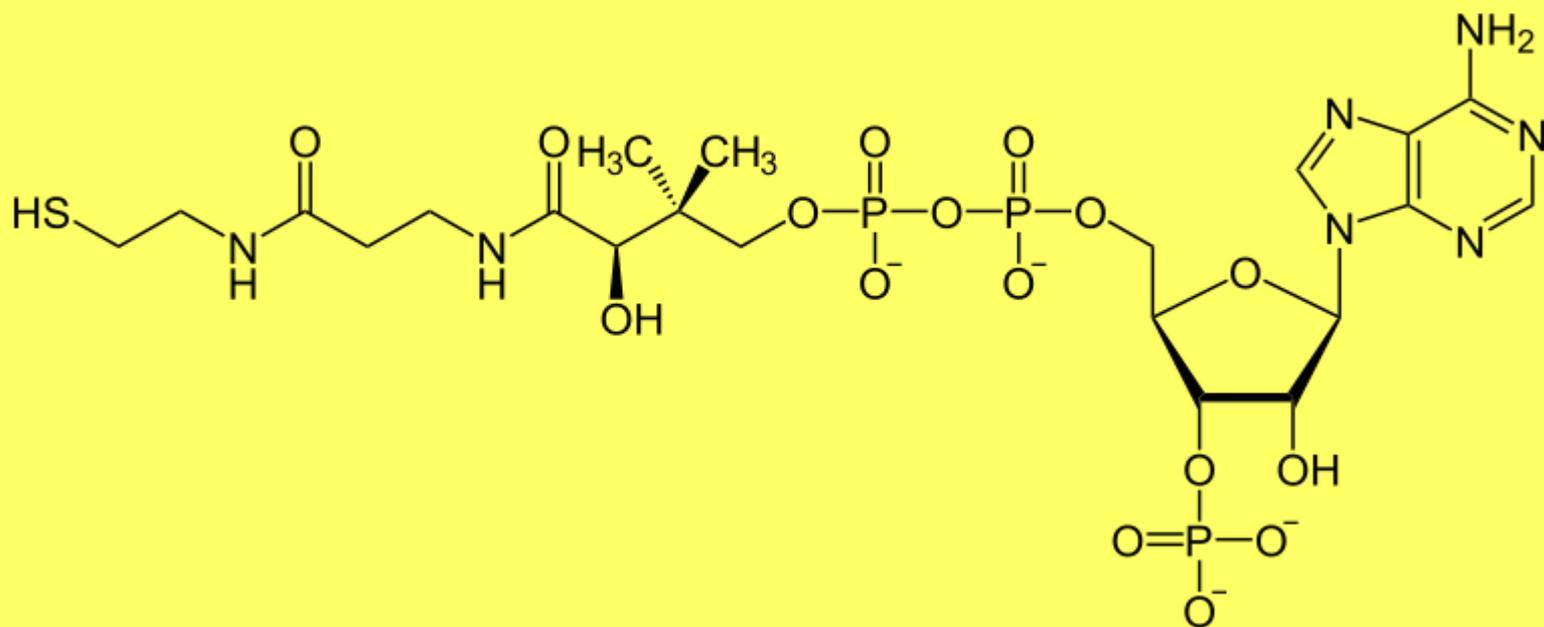
Суточная потребность 5-10 мг.

Наиболее важным производным является коэнзим А (кофермент ацилирования КоА)



Коэнзим А (HS-КоА)

Химически активным участком является HS-группа



ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

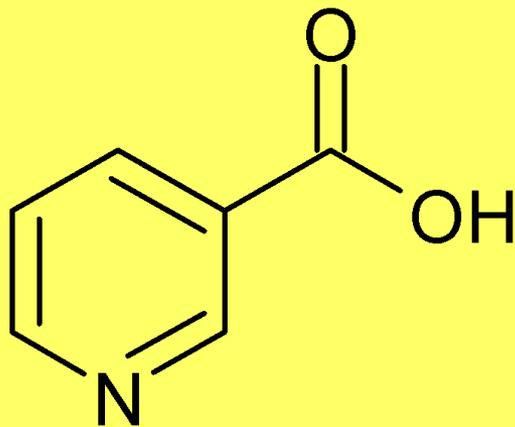
Таблица 3.9. Содержание витамина В₃ в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина В ₃ , мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₃ , мг на 100 г
Телячья печень	8,0	Телятина	0,84
Говяжья печень	8,0	Свинина	0,69
Куриная печень	7,0	Арбуз	0,66
Свиная печень	6,80	Цветная капуста	0,56
Яичный желток	3,60	Говядина	0,55
Дрожжи	3,50	Молоко	0,35
Белые грибы	2,70	Соя	0,30
Арахис	1,82	Помидоры	0,30
Шампиньоны	1,60	Клубника	0,29
Овсяные хлопья	1,10	Абрикосы	0,27

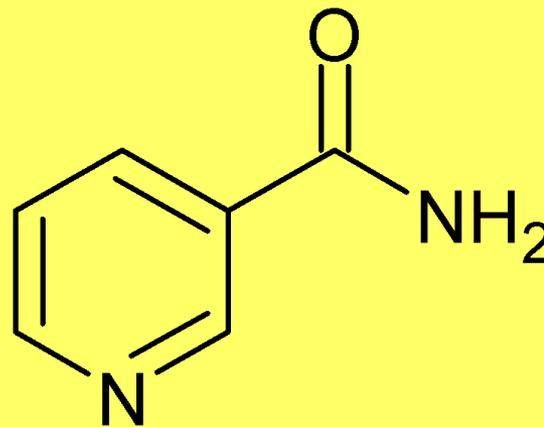
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин В₅ (PP) – антипеллагрический

Суточная потребность 15-25 мг

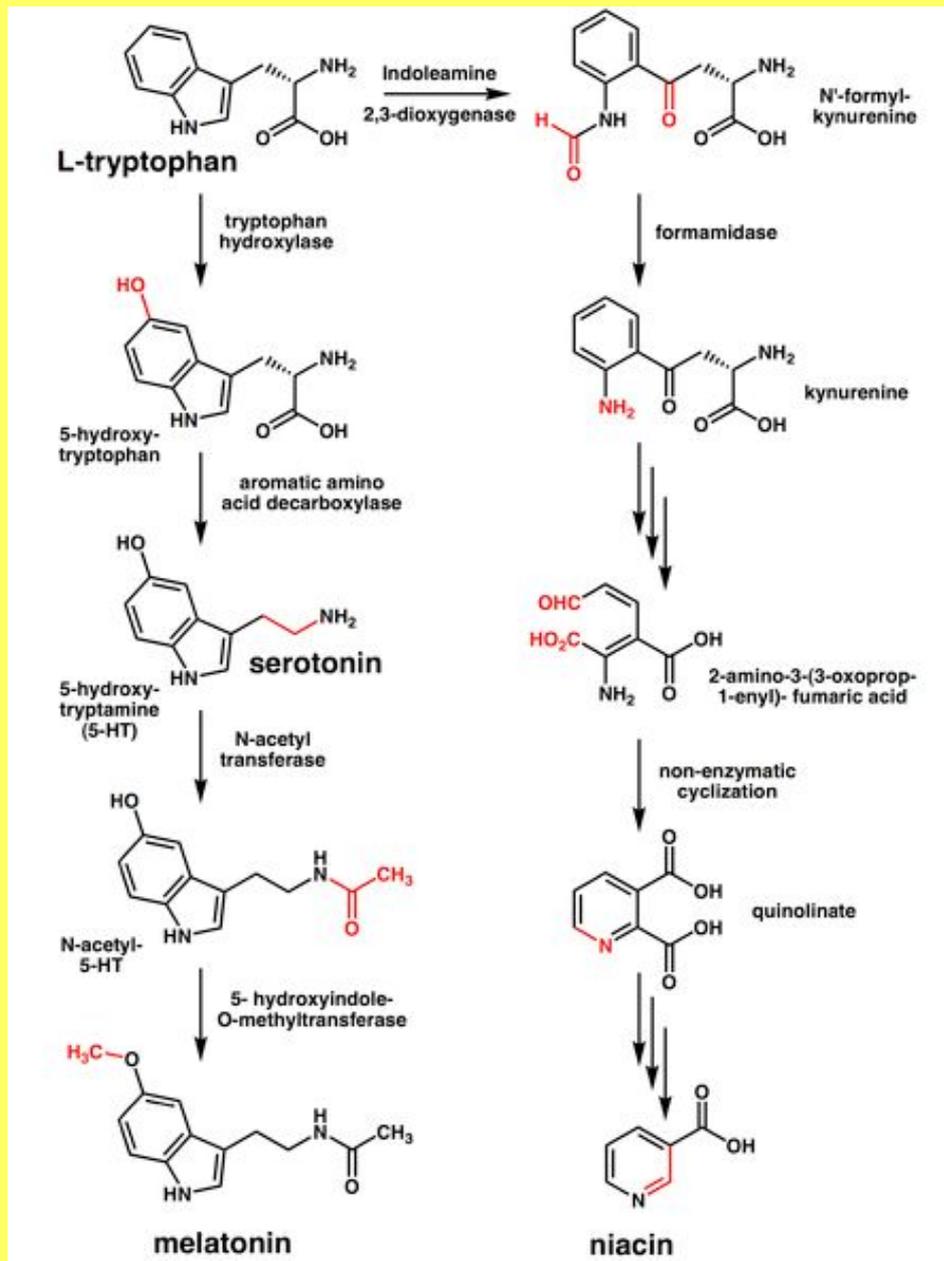


Никотиновая кислота

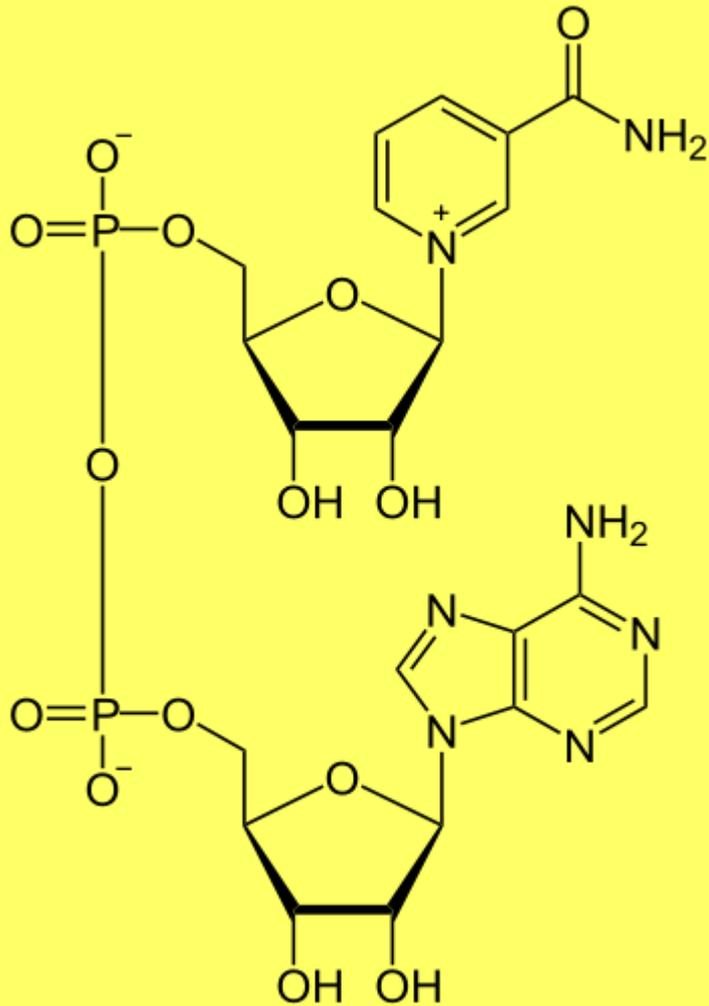


Никотинамид

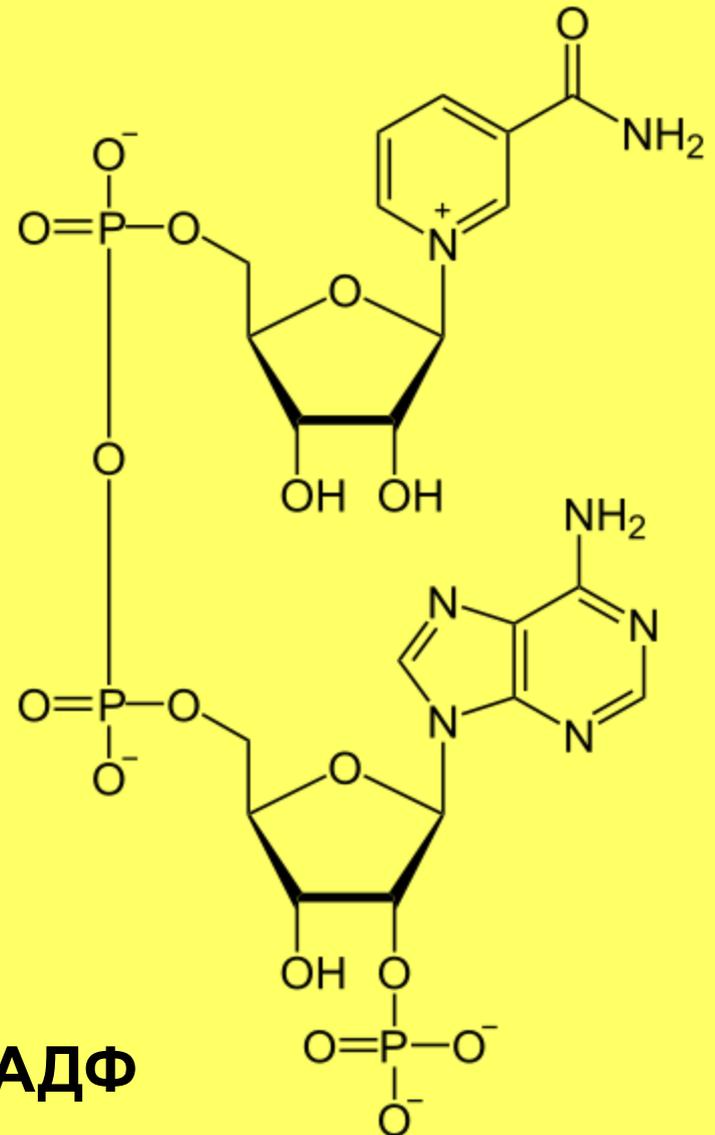
У человека и животных синтезируется из триптофана.



Участвует в синтезе никотинамиддинуклеотида НАД и никотинамиддинуклеотидфосфата НАДФ – коферментов дегидрогеназ.

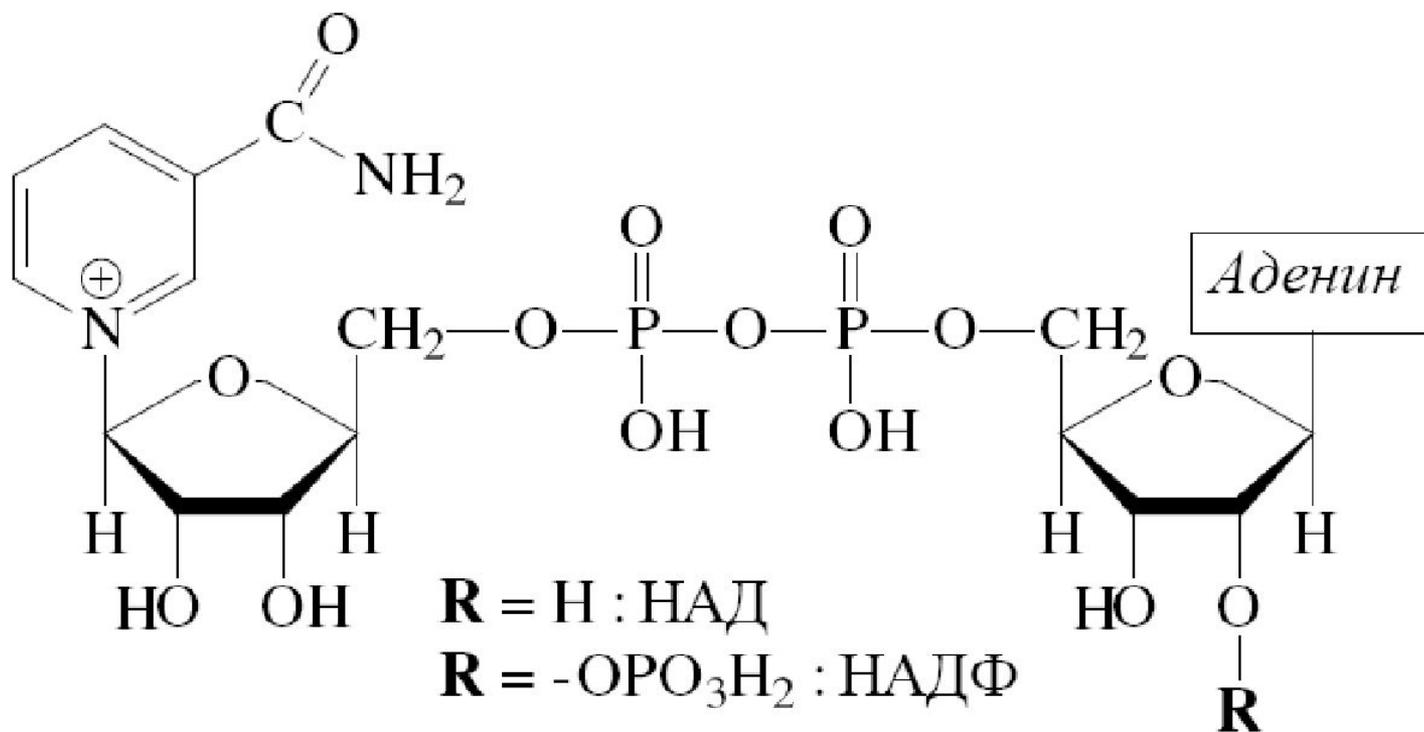


НАД

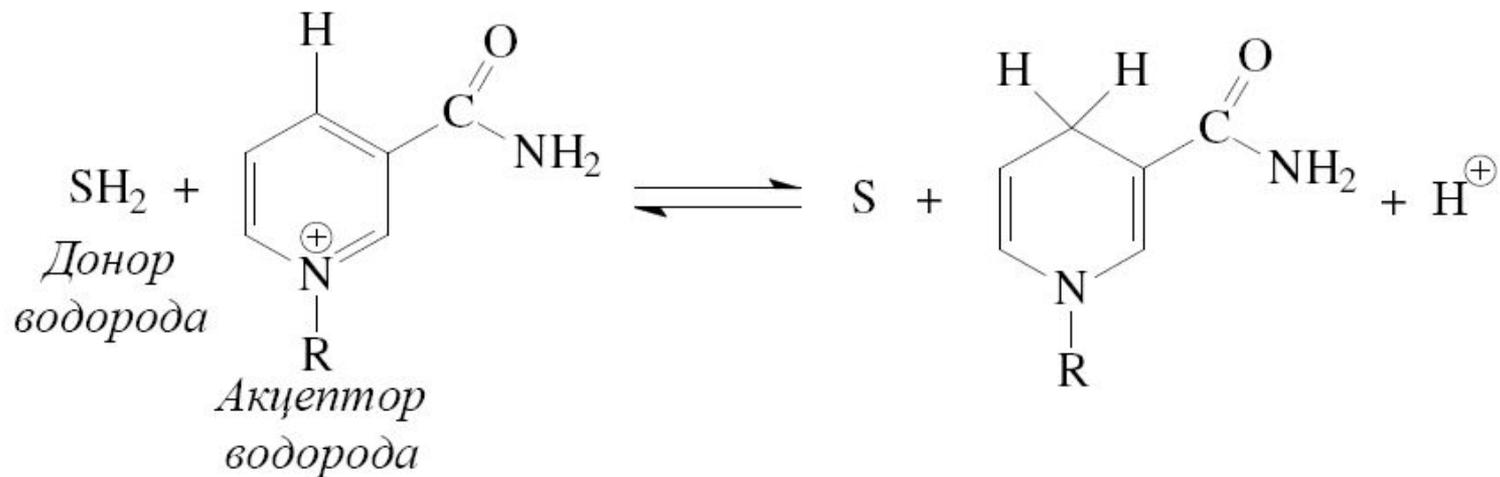


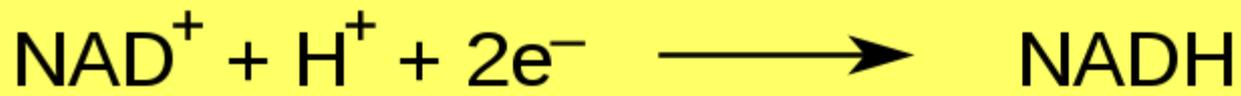
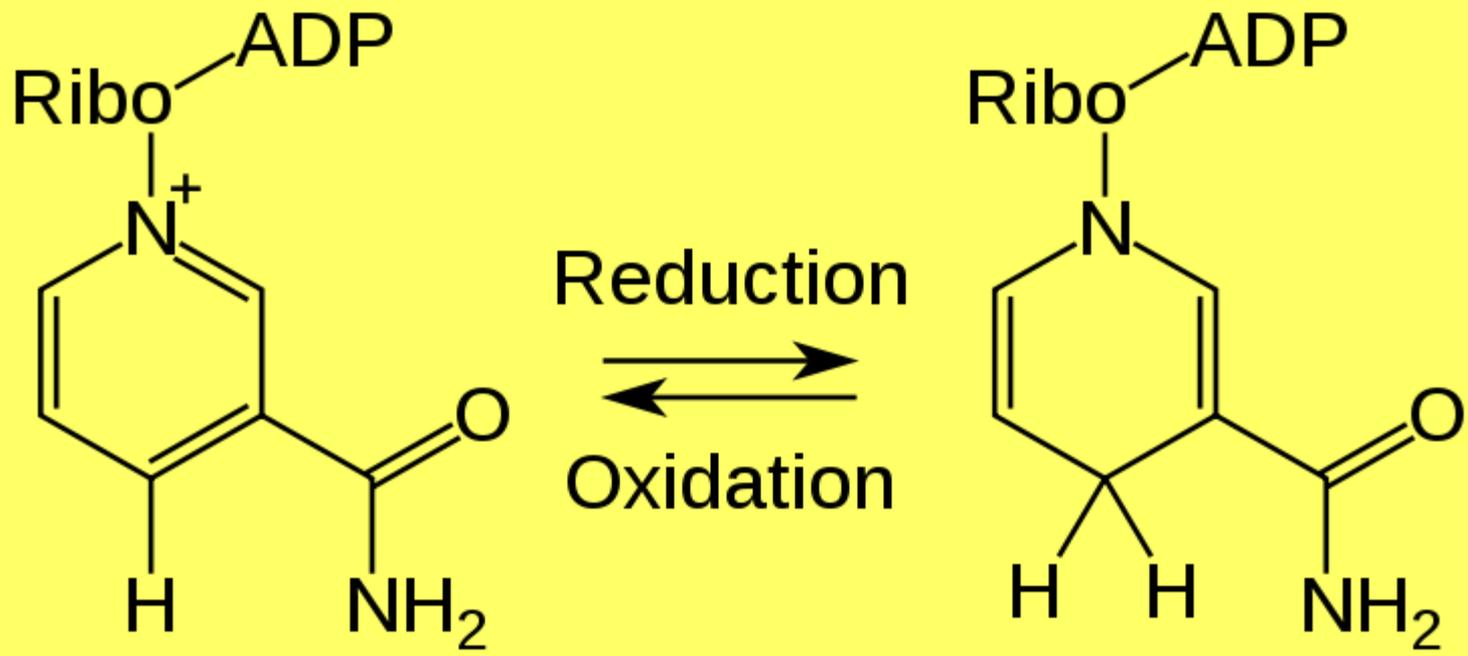
НАДФ

НАД и НАДФ



НАД-зависимые дегидрогеназы катализируют реакции окисления веществ путем дегидрирования





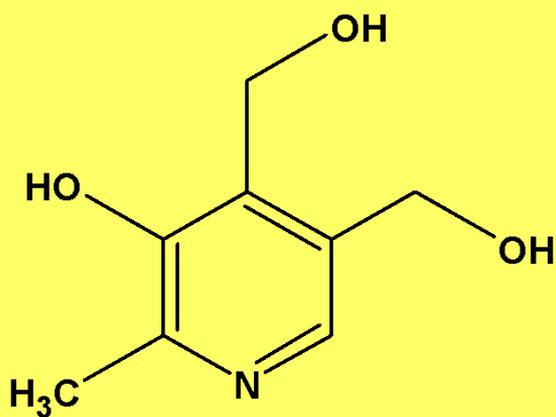
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.10. Содержание витамина В₅ в некоторых продуктах питания

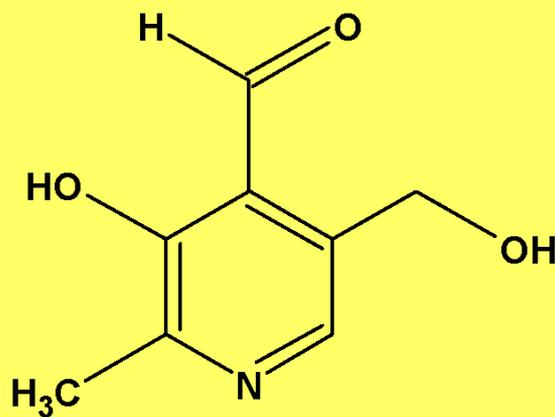
Продукт	Содержание витамина В ₅ , мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₅ , мг на 100 г
Сушеные белые грибы	61,60	Креветки	5,58
Свиная печень	19,20	Крабы	5,58
Говяжья печень	18,50	Ячмень	5,23
Телячья печень	17,0	Овес	4,69
Дрожжи	15,20	Шампиньоны	3,90
Куриная печень	15,20	Форель	3,34
Зайчатина	12,03	Яйца	3,11
Лосось	10,53	Кукуруза	2,57
Курица	10,21	Рис	1,90
Соя	9,03	Картофель	1,62
		Зеленый горошек	1,36

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

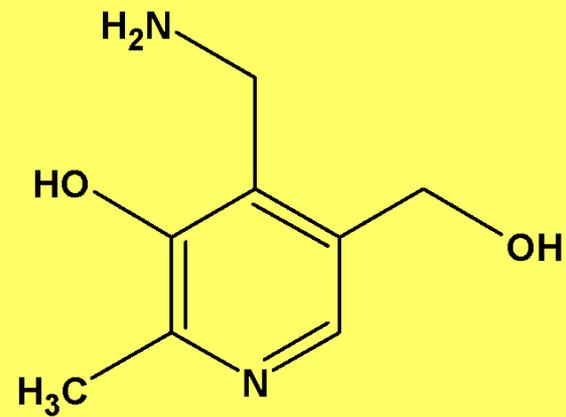
Витамин В₆ Суточная потребность 2-3 мг.



Пиридоксол

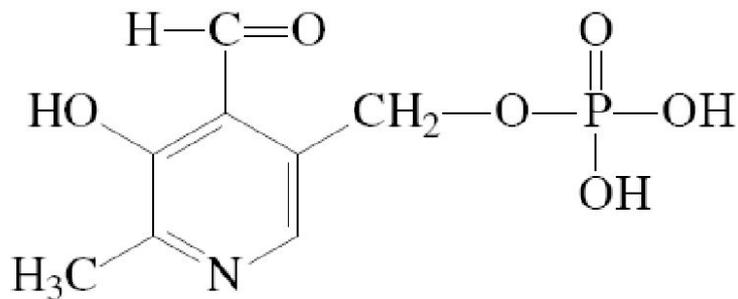


Пиридоксаль

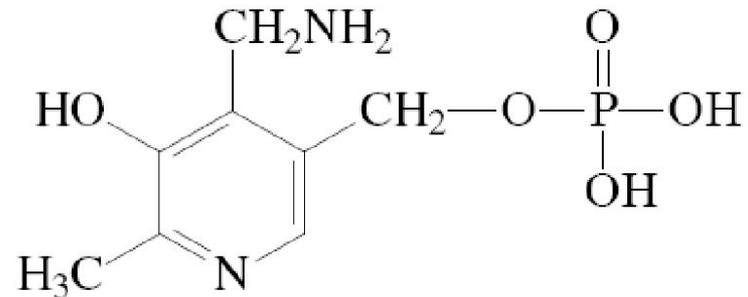


Пиридоксамин

Витамин В₆



*Пиридоксальфосфат
(ПЛФ)*



*Пиридоксаминфосфат
(ПАФ)*

В организме превращается в коферменты гидролаз, лиаз и изомераз – пиридоксальфосфат (ПЛФ) и пиридоксальмонофосфат (ПАФ).

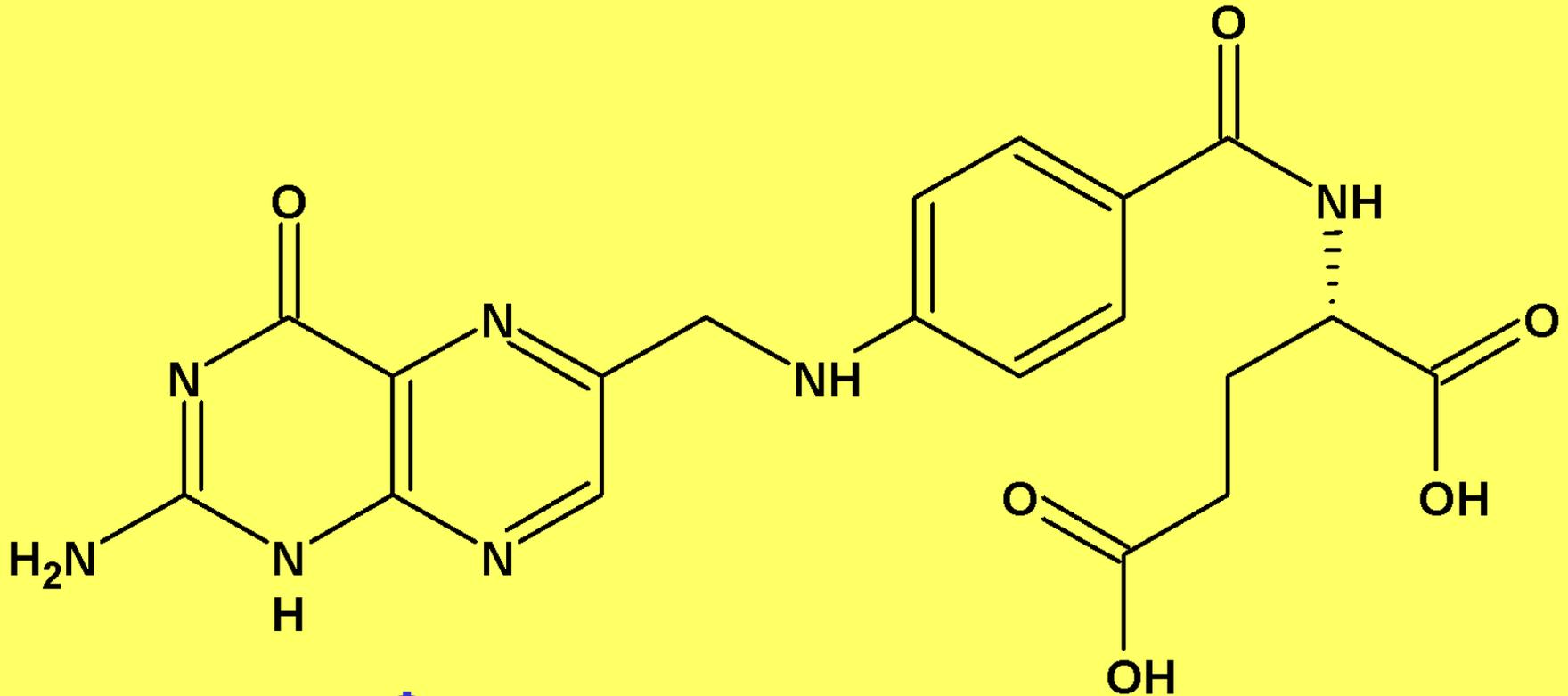
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.11. Содержание витамина В₆ в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина В ₆ , мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₆ , мг на 100 г
Лосось	0,98	Яичный желток	0,30
Овес	0,96	Бананы	0,27
Грецкие орехи	0,80	Зеленый болгарский перец	0,22
Телячья печень	0,80	Арахис	0,21
Говяжья печень	0,80	Фасоль	0,20
Дрожжи	0,70	Картофель	0,19
Куриная печень	0,70	Лук-порей	0,15
Свинина	0,47	Форель	0,14
Пшеница	0,45	Капуста	0,14
Авокадо	0,38		

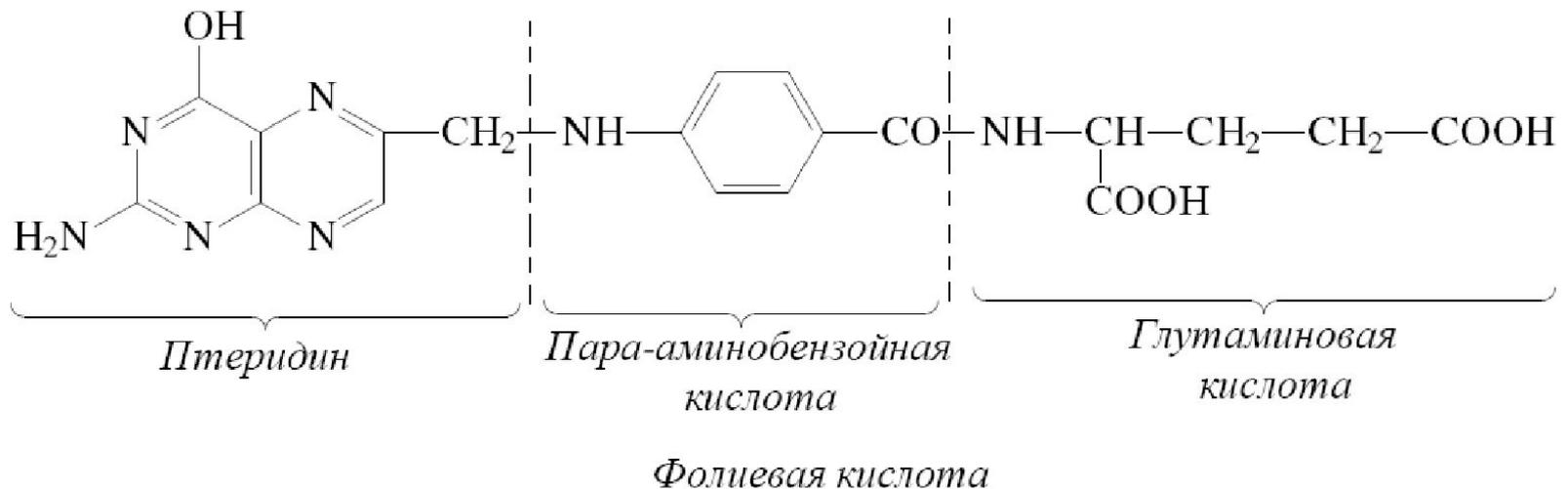
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин В₉ (фолацин) –фактор роста.
Суточная потребность – 0.1 – 0.5 мг.



Фолиевая кислота

Витамин В₉ (фолацин)

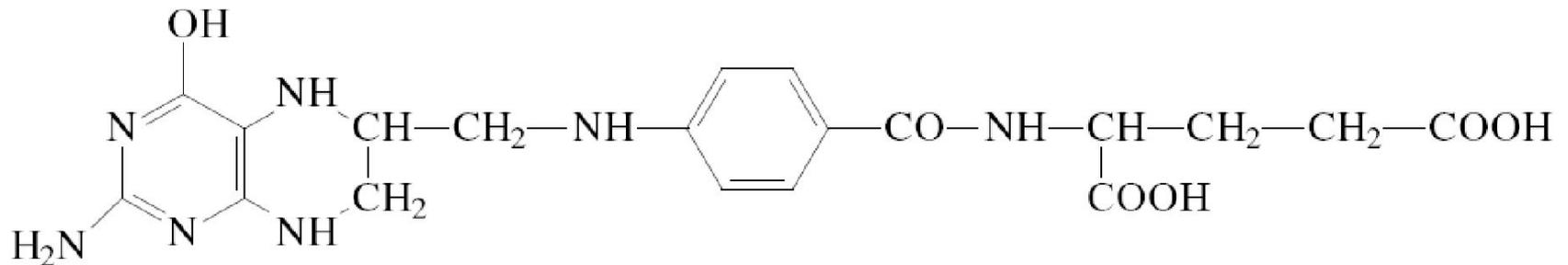


ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.12. Содержание витамина В₉ в некоторых продуктах питания

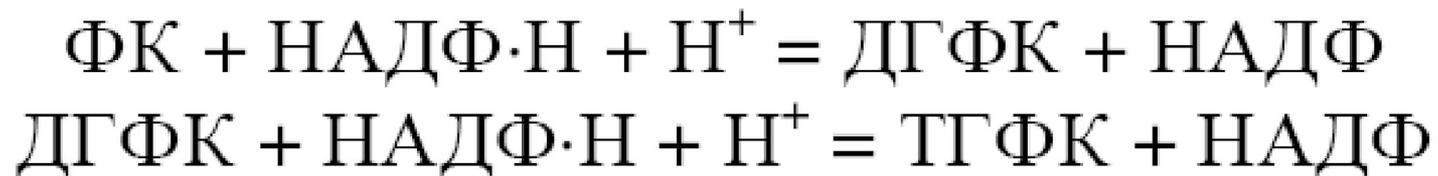
Продукт	Содержание витамина В ₉ , мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₉ , мкг на 100 г
Дрожжи	1200,0	Апельсины	26,64
Пророщенная пшеница	520,0	Лосось	26,0
Говяжья печень	242,0	Баклажаны	25,42
Свиная печень	200,0	Цветная капуста	24,80
Фенхель	93,0	Вермишель	21,23
Свекла	70,20	Шампиньоны	20,0
Шпинат	66,30	Клубника	18,0
Яйца	65,0	Бананы	14,74
Соя	44,0	Огурцы	14,40
Помидоры	37,05	Зеленый горошек	13,20
Мандарины	37,0	Белый хлеб	12,93
		Морковь	6,56

Витамин В₉ (фолацин)

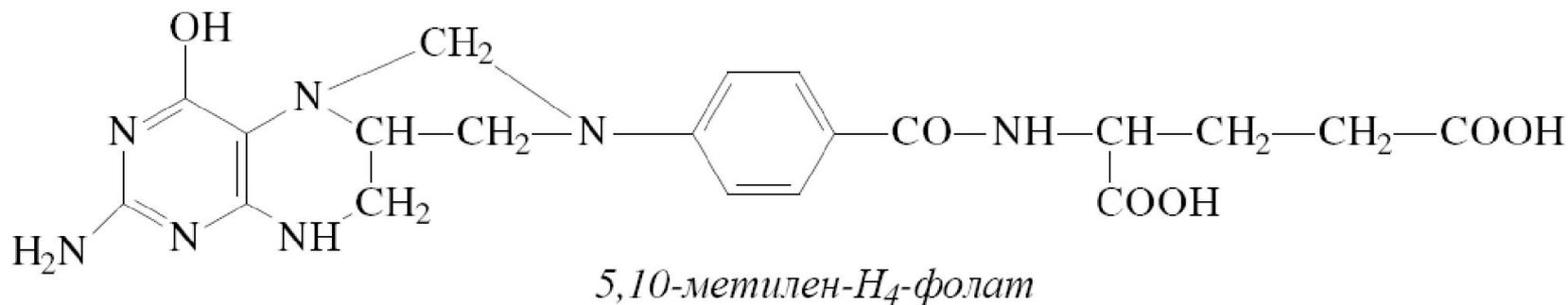
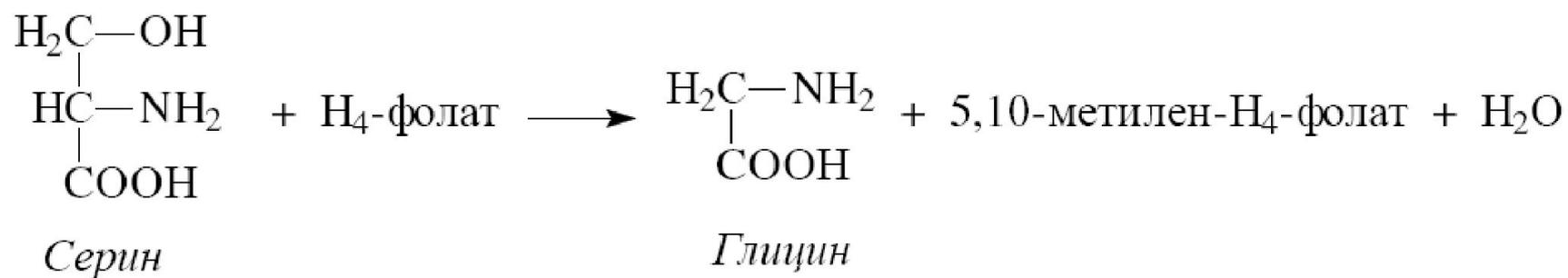


Тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК или Н₄-фолат)

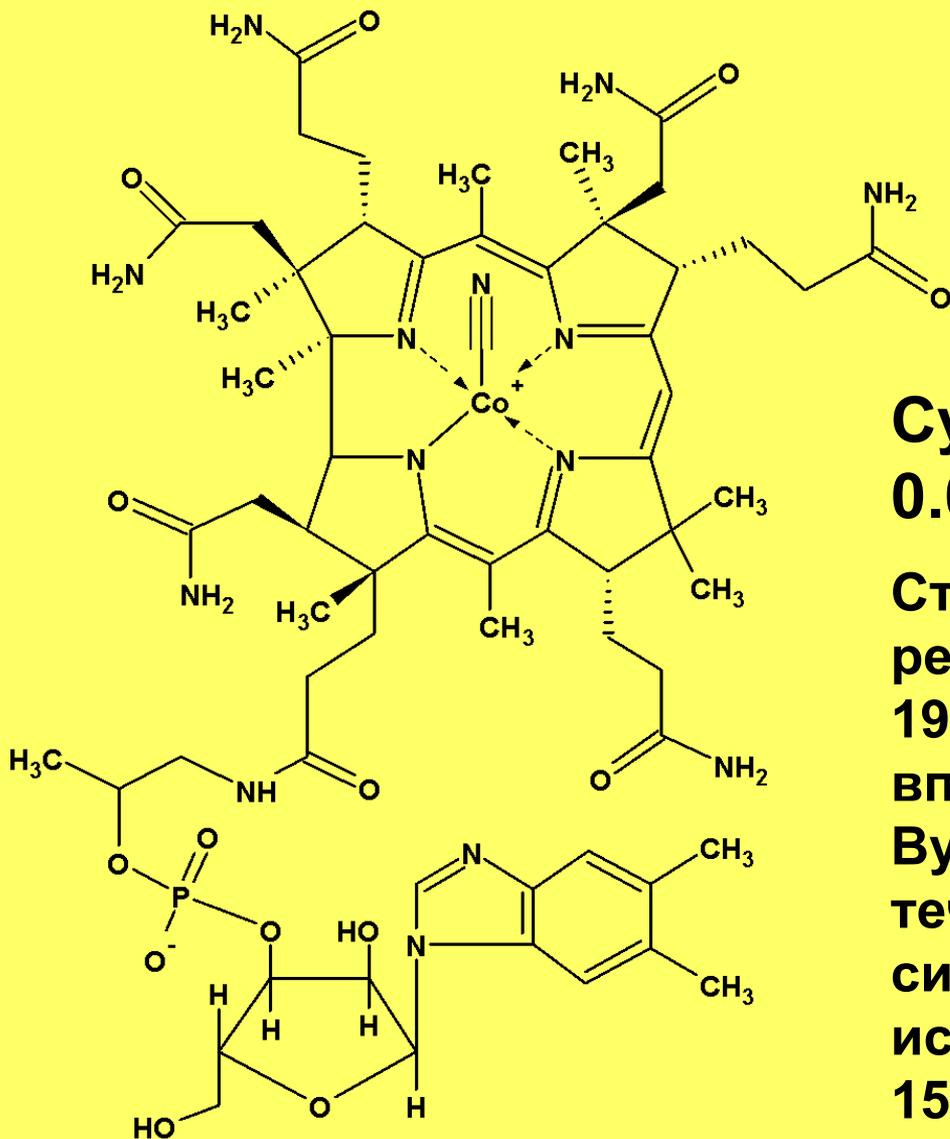
Активной коферментной формой является восстановленная фолиевая кислота – тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК) или Н₄-фолат.



ТГФК участвует в реакциях переноса одноуглеродных фрагментов.



ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ



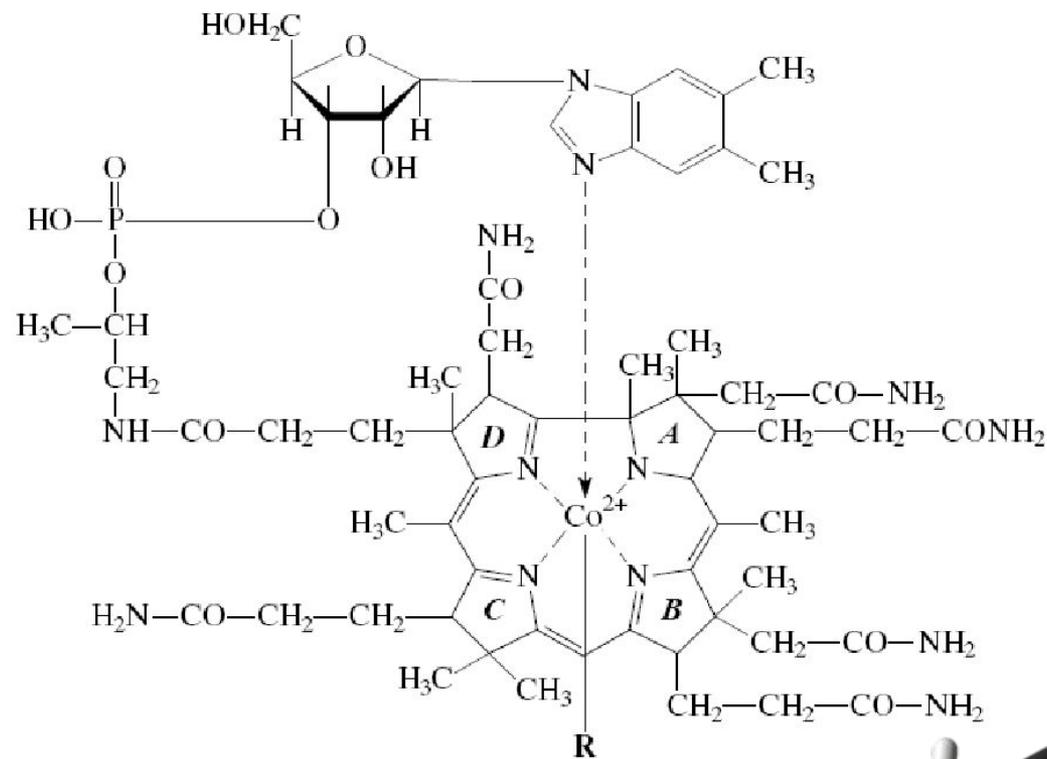
Витамин В₁₂

Кобаламин

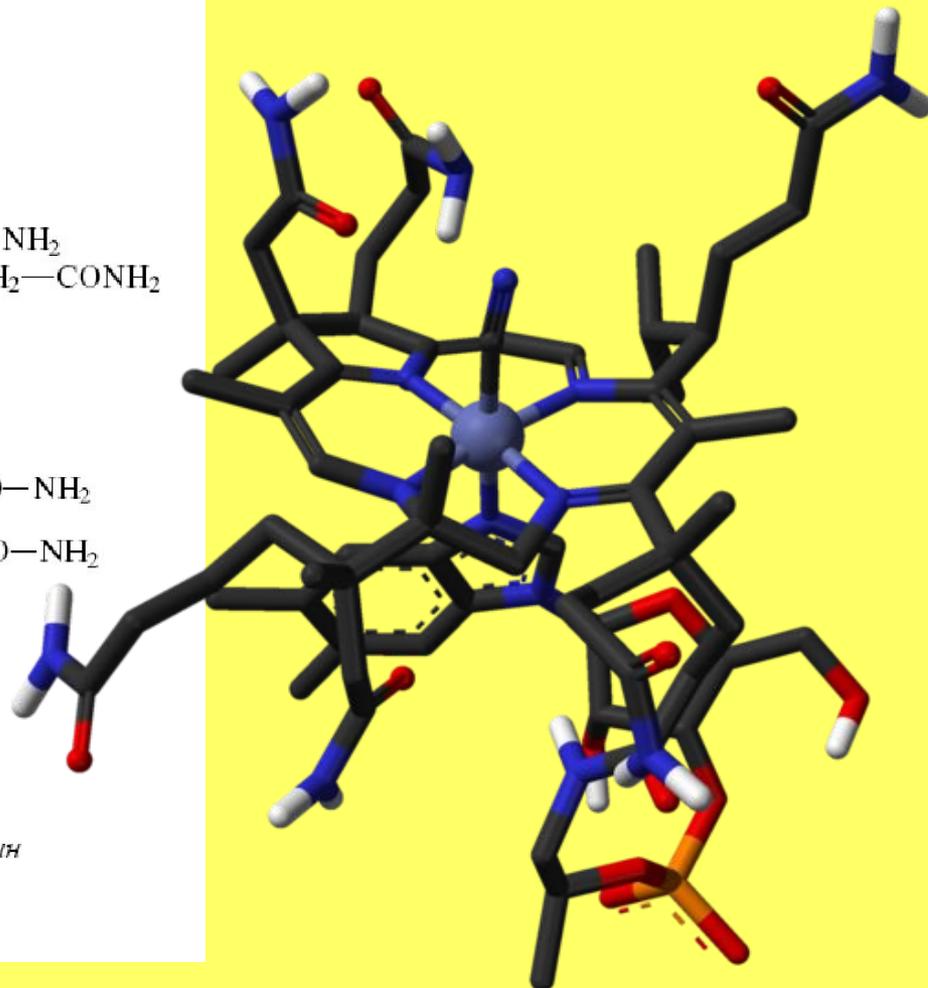
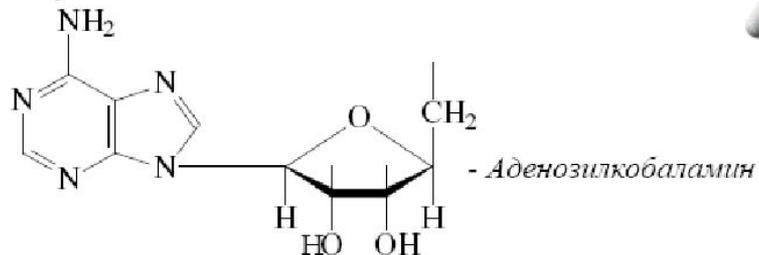
антианемический

**Суточная потребность
0.005-0.080 мг.**

**Строение установлено
рентгеноструктурным анализом в
1955-1969 гг. Полный синтез
впервые осуществлен Р.
Вудвордом (130 химиков в
течение 10 лет). Ферментативный
синтез (1994 г) – с
использованием 12 ферментов за
15 часов.**



R: CN^- - Цианкобаламин
 CH_3 - Метилкобаламин



ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин B_{12} выделяют из микробной массы или животных тканей, используя растворы, содержащие, цианид-ионы. При этом образуется цианокобаламин, который биологически неактивен. В состав B_{12} -зависимых ферментов входит метилкобаламин или дезоксиаденозилкобаламин. Метилкобаламин присутствует в цитоплазме, а дезоксиаденозилкобаламин в митохондриях. Метилкобаламин служит коферментом в реакциях трансметилирования. Дезоксиаденозилкобаламин участвует в метаболизме малоновой кислоты. Основное значение витамина B_{12} обусловлено его антианемическим действием.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Внутренний фактор Касла (гастромукопротеид) — комплексное соединение, состоящее из пептидов, отщепляющихся от пепсиногена при его превращении в пепсин, и мукоидов — секрета, выделяемого клетками слизистой оболочки желудка (мукоцитами). Мукоидная часть комплекса защищает его от гидролиза пищеварительными ферментами и утилизации бактериями кишечника; белковая часть определяет его физиологическую активность. Основная роль внутреннего фактора Касла заключается в образовании с витамином В₁₂ лабильного комплекса, который всасывается эпителиальными клетками подвздошной кишки. Всасывание усиливается в присутствии ионов кальция, бикарбонатов и ферментов поджелудочной железы.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

В плазме крови витамин B_{12} связывается с белками плазмы, образуя белково- B_{12} -витаминный комплекс, который депонируется в печени. Он усиливает кроветворную функцию костного мозга, а также функции нервной ткани и желудочно-кишечного тракта. Секреция внутреннего фактора Касла может снизиться или полностью прекратиться при поражении желудочно-кишечного тракта (например, при воспалительном процессе, раке), при удалении части желудка или тонкой кишки и т. д. В этих случаях нарушается связывание и всасывание витамина B_{12} , что приводит к развитию B_{12} -дефицитной мегалобластной, или пернициозной, анемии .

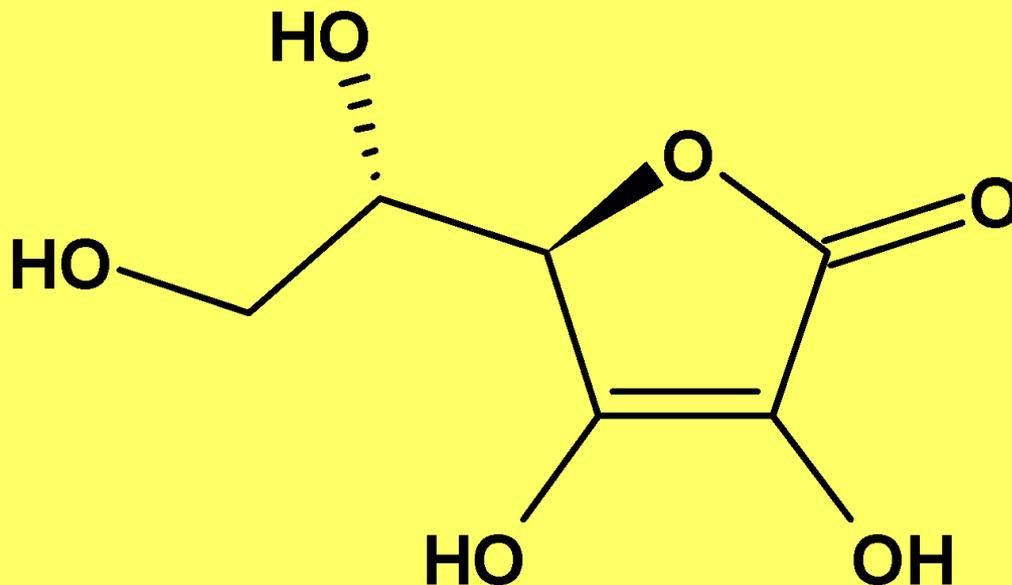
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Таблица 3.13. Содержание витамина В₁₂ в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина В ₁₂ , мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина В ₁₂ , мкг на 100 г
Телячья печень	80,0	Форель	2,54
Говяжья печень	70,0	Баранина	2,46
Куриная печень	40,0	Телятина	1,85
Свиная печень	25,0	Говядина	1,80
Сельдь	4,86	Яйца	1,70
Яичный желток	3,80	Творог	0,93
Лосось	3,0	Треска	0,77
Свинина	2,78	Молоко	0,36

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин С – аскорбиновая кислота.
Суточная потребность – 80-110 мг.



Витамин С – аскорбиновая кислота

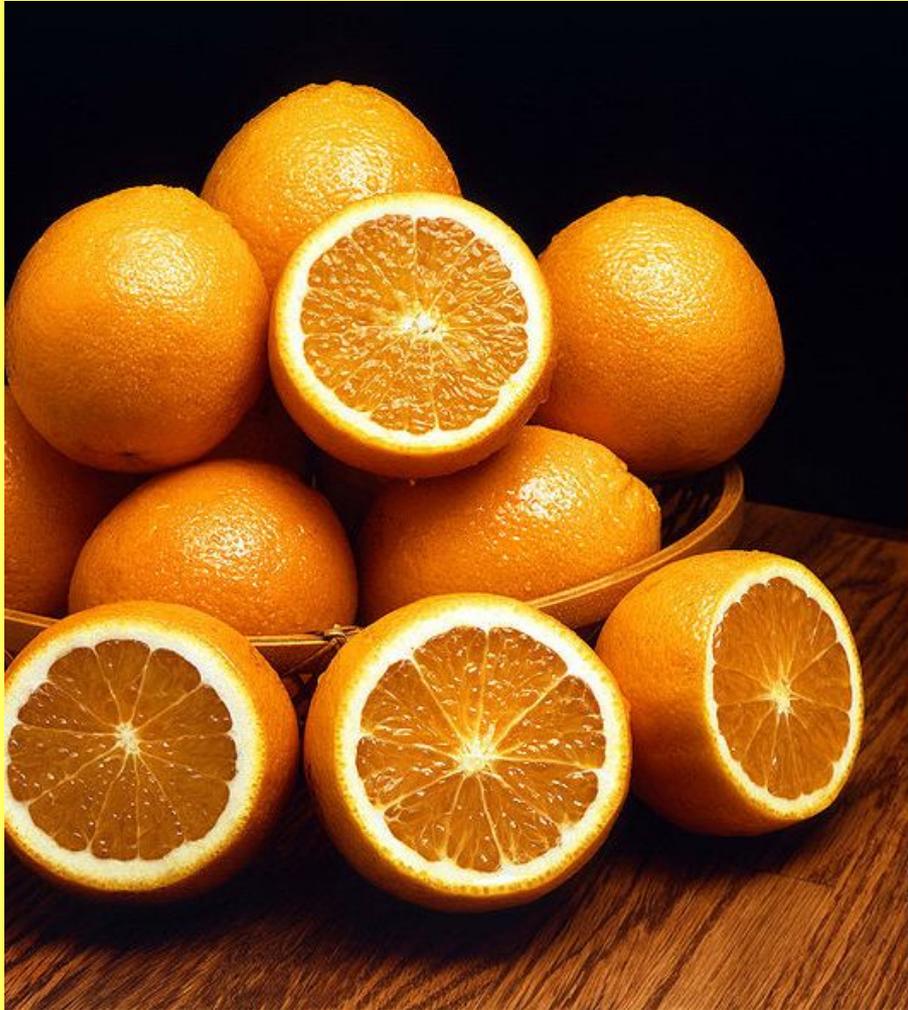


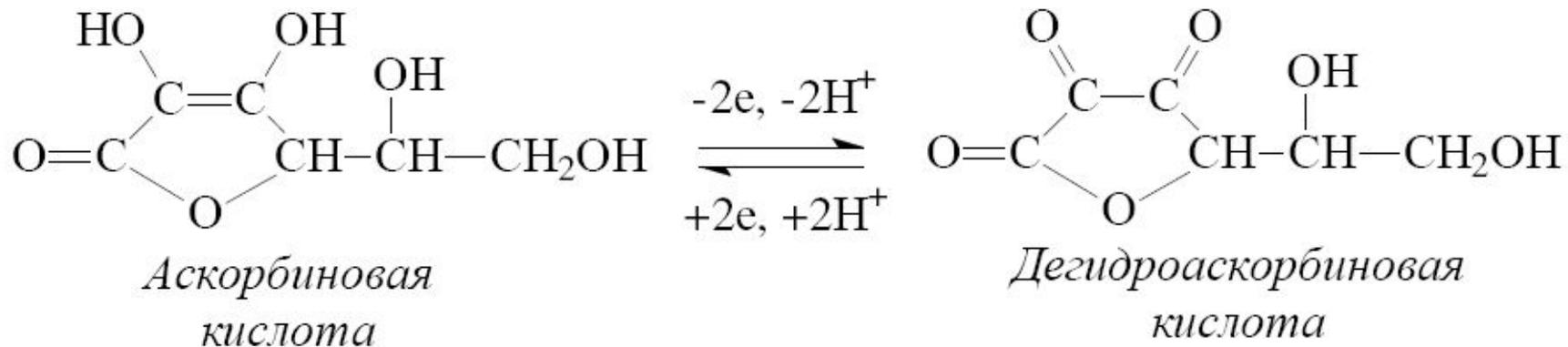
Таблица 3.14. Содержание витамина С в некоторых продуктах питания

Продукт	Содержание витамина С, мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина С, мг на 100 г
Облепиха	270,0	Апельсины	50,0
Черная смородина	180,0	Цветная капуста	45,26
Зеленый болгарский перец	139,0	Шпинат	42,50
Петрушка	96,0	Красная смородина	40,0
Фенхель	86,49	Крыжовник	35,0
Шиповник	84,50	Лимоны	33,92
Брокколи	71,50	Дыня	30,0
Киви	69,60	Грейпфрут	26,40
Хрен	62,01	Зеленый салат	25,50

Продолжение

Продукт	Содержание витамина С, мг на 100 г	Продукт	Содержание витамина С, мг на 100 г
Капуста	60,50	Малина	24,0
Клубника	58,20	Помидоры	20,90
		Квашеная капуста (без сока)	20,0

Витамин С – аскорбиновая кислота



В организме эта сопряженная окислительно-восстановительная пара является активным антидотом свободнорадикальных реакций, протекание которых усиливается при патологических состояниях. Аскорбиновая кислота участвует в синтезе нейромедиаторов, гормонов, образовании коллагена, восстановлении ионов Fe^{3+} до Fe^{2+} и во многих других.

Витамин С – аскорбиновая кислота

Особенности биохимических функций витамина С:

- 1) Отсутствие в биологическом действии коферментных функций.**
- 2) Участие в синтезе белковой части большинства ферментов**
- 3) Отсутствие путей биосинтеза витамина в организме человека в отличие от большинства животных.**

Коллаген, синтезированный при недостатке или отсутствии витамина С, не способен к образованию полноценных волокон, что является причиной поражений кожи, ломкости сосудов и других признаков, характерных для цинги.

Витамин С – аскорбиновая кислота

Синтез коллагена и образование волокон осуществляется в несколько этапов:

- 1. Сборка α -цепей на рибосомах эндоплазматической сети фибробластов.**
- 2. Образование протоколлагена.**
- 3. Гидроксилирование и образование проколлагена.**
- 4. Гликозилирование и образование тропоколлагена.**
- 5. Секреция тропоколлагена из клетки.**
- 6. Полимеризация в фибриллы.**
- 7. Образование коллагенового волокна.**

После возникновения каждая α -цепь начинает вытягиваться и объединяться с двумя другими цепями. При этом между цепями образуются водородные связи — водород прикрепляется к аминогруппе или гидроксильной группе, образуя связь с соседним кислородом ближайшей карбоксильной группы. Водородные связи являются слабыми, поэтому в дальнейшем молекула коллагена укрепляется более прочными связями. Одновременно в α -цепях происходят реакции гидроксилирования пролина и лизина, катализируемые соответствующими гидроксилазами (с участием аскорбиновой кислоты, Fe, молекулярного кислорода и α -кетоглутарата). За счет образования водородных связей гидроксипролин участвует в стабилизации коллагеновой спирали. Через гидроксильную группу гидроксилизина к коллагену присоединяется полисахарид, а в дальнейшем гидроксилизин принимает участие в образовании поперечной исчерченности.

Витамин С – аскорбиновая кислота

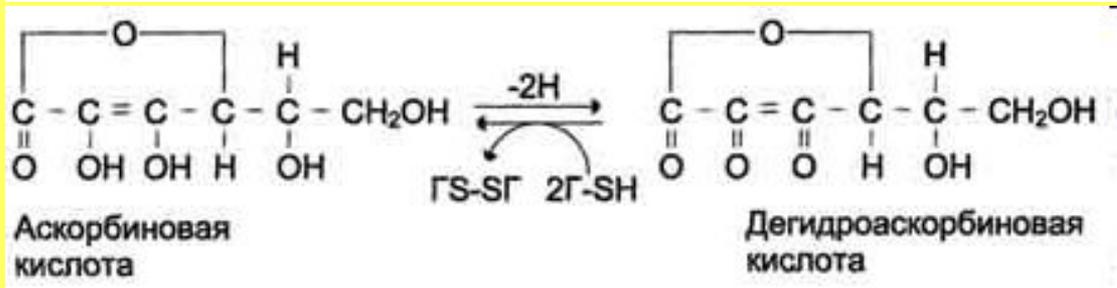
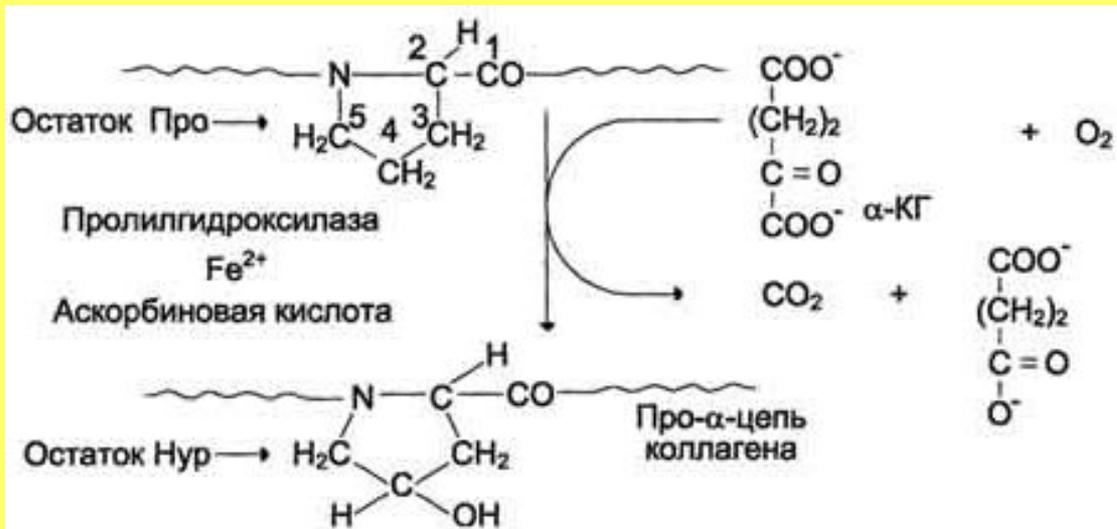
Коллаген относится к тем немногим белкам животного происхождения, которые содержат остатки нестандартных аминокислот: около 21 % от общего числа остатков приходится на 3-гидроксипролин, 4-гидроксипролин и 5-гидроксилизин. Важный момент в синтезе — реакции гидроксилирования, которые открывают путь дальнейшим модификациям, необходимым для созревания коллагена. Катализируют реакции гидроксилирования специфические ферменты. Так, образование 4-оксипролина катализирует пролингидроксилаза, в активном центре которой находится железо. Фермент активен в том случае, если железо находится в двухвалентной форме, что обеспечивается аскорбиновой кислотой (витамин С). Дефицит аскорбиновой кислоты нарушает процесс гидроксилирования, что влияет на дальнейшие стадии синтеза коллагена- гликозилирование, отщепление N- и C-концевых пептидов и др. В результате синтезируется аномальный коллаген, более рыхлый. Эти изменения лежат в основе развития цинги.

Витамин С – аскорбиновая кислота

Пролил-3-гидроксилаза действует на некоторые остатки пролина в X-положениях. Необходимыми компонентами этой реакции являются оксетоглутарат, O_2 и витамин С (аскорбиновая кислота). Донором атома кислорода, который присоединяется к С-4 пролина, является молекула O_2 , второй атом O_2 включается в сукцинат, который образуется при декарбоксилировании α -кетоглутарата, а из карбоксильной группы α -кетоглутарата образуется CO_2 .

Гидроксилазы пролина и лизина содержат в активном центре атом железа Fe^{2+} . Для сохранения атома железа в ферроформе необходим восстанавливающий агент. Роль этого агента выполняет аскорбиновая кислота, которая легко окисляется в дегидроаскорбиновую кислоту. Обратное превращение происходит в ферментативном процессе за счёт восстановленного глутатиона.

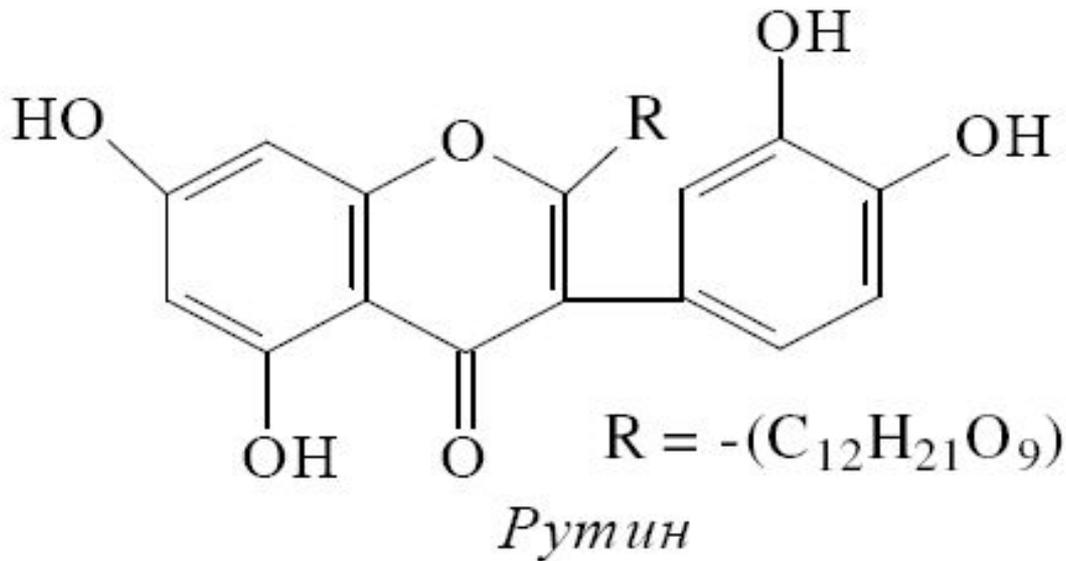
Витамин С – аскорбиновая кислота



Гидроксилирование пролина необходимо для стабилизации тройной спирали коллагена, OH-группы гидроксипролина (Нур) участвуют в образовании водородных связей. А гидроксилирование лизина очень важно для последующего образования ковалентных связей между молекулами коллагена при сборке коллагеновых фибрилл.

При цинге - заболевании, вызванном недостатком витамина С, нарушается гидроксилирование остатков пролина и лизина. В результате этого образуются менее прочные и стабильные коллагеновые волокна, что приводит к большой хрупкости и ломкости кровеносных сосудов с развитием цинги. Клиническая картина цинги характеризуется возникновением множественных точечных кровоизлияний под кожу и слизистые оболочки, кровоточивостью дёсен, выпадением зубов, анемией.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ



Витамин Р (флавоноиды). Суточная потребность 25 мг.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Соединения, образующие группу витамина Р, в процессе метаболизма превращаются в фенольные кислоты, которые используются организмом для синтеза убихинона и ряда других ароматических биосоединений. Флавоноиды обладают сосудоукрепляющим и активирующим действием, способствуют поддержанию в хорошем состоянии коллагена. Отмечается выраженный синергизм действия витамина Р с витамином С. Биофлавоноиды повышают усвояемость и эффективность витамина С, предохраняя его от окисления, их следует принимать вместе (аскорутин).

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин Н – биотин.

Суточная потребность 0.15 – 0.3 мг

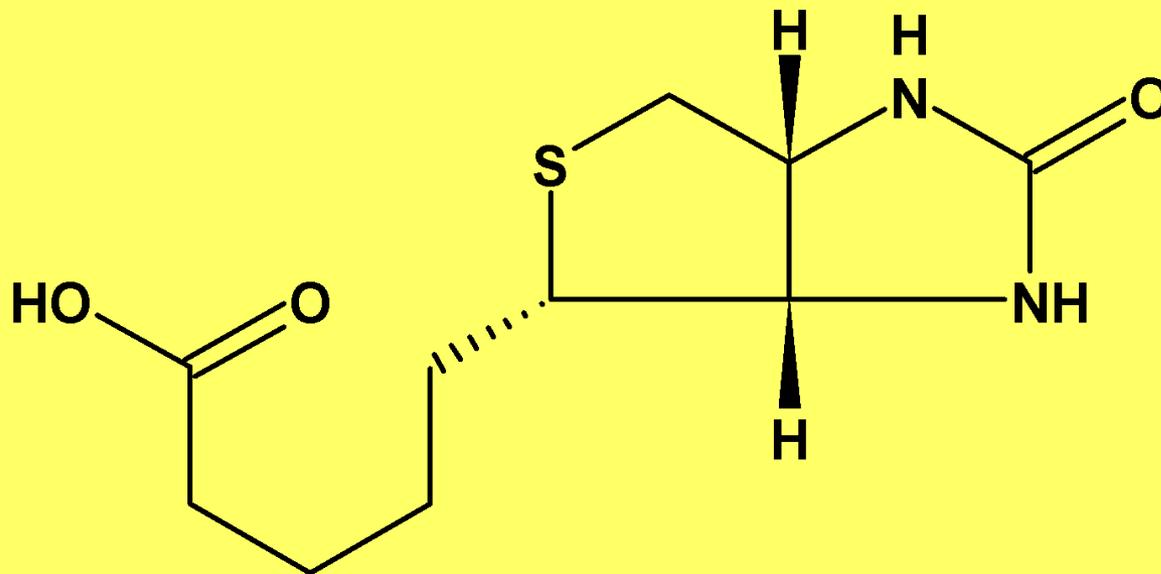
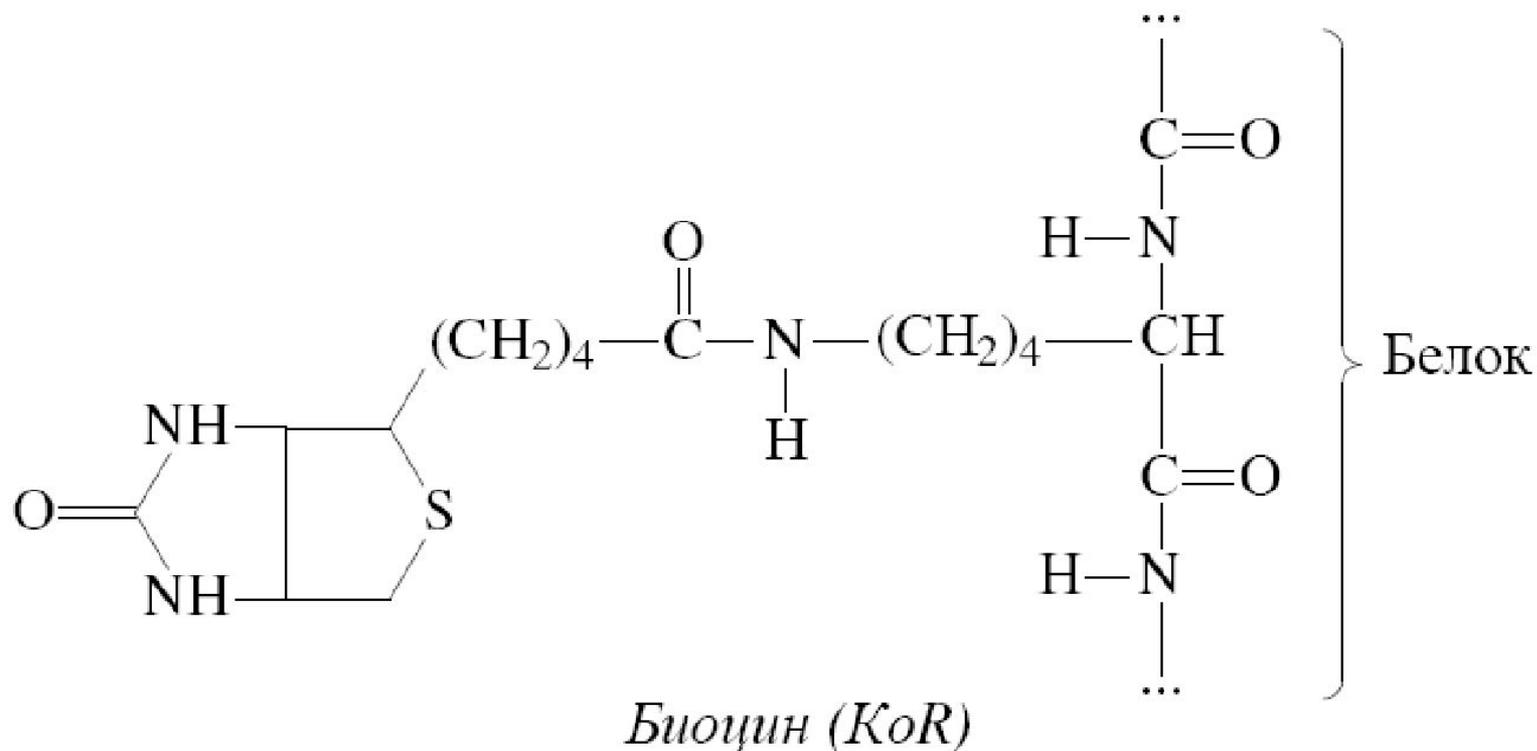


Таблица 3.15. Содержание витамина Н в некоторых продуктах питания

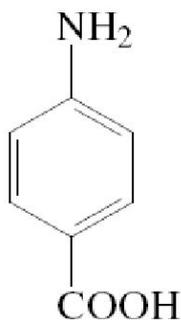
Продукт	Содержание витамина Н, мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина Н, мкг на 100 г
Говяжья печень	100,0	Бананы	3,35
Дрожжи	60,0	Морковь	3,28
Яичный желток	57,0	Йогурт	3,0
Телячья печень	50,0	Клубника	2,91
Свиная печень	30,0	Черная смородина	2,40
Овсяные хлопья	20,0	Фенхель	2,33
Шампиньоны	11,20	Курица	2,0
Творог	6,02	Брусника	1,88

Продукт	Содержание витамина Н, мкг на 100 г	Продукт	Содержание витамина Н, мкг на 100 г
Шпинат	5,87	Облепиха	1,80
Соя	4,0	Апельсины	1,50
Фасоль	3,72	Черника	1,08
Молоко	3,50	Вишня	0,40

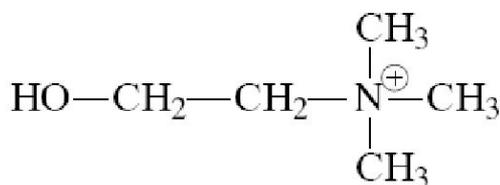
Биотин образует амидную связь с ϵ -аминогруппой лизина, в результате образуется **биоцин** (KoR), входящий в активный центр биотинзависимых ферментов.



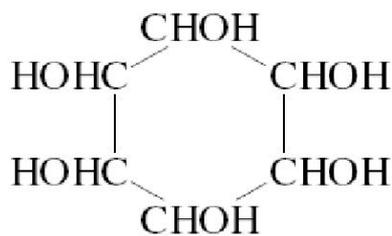
Витаминоподобные водорастворимые вещества



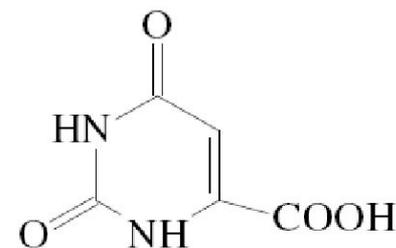
пара-Аминобензойная кислота



Холин



Инозит



Оротовая кислота

п-Аминобензойная кислота (витамин H_1) входит в состав фолиевой кислоты, активирует синтез пуриновых и пиримидиновых оснований, влияет на функцию щитовидной железы, является фактором роста и развития организмов. Антиоксидант. Распространена во многих пищевых продуктах (печень, почки, сердце, грибы, дрожжи и др.)

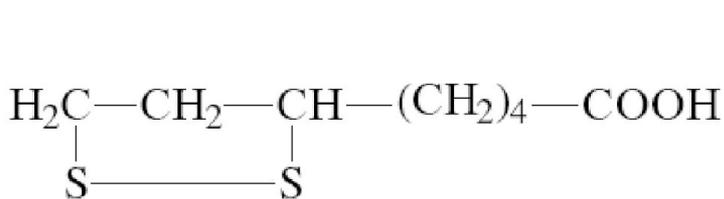
Витаминоподобные водорастворимые вещества

Холин (витамин B_4) – участвует в синтезе фосфатидов, ацетилхолина и является донором метильных групп в реакциях трансметилирования. Содержится в мясе и продуктах, получаемых из злаковых растений.

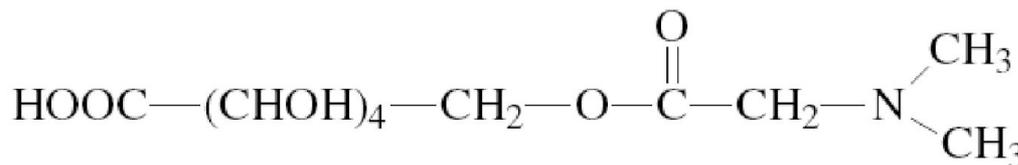
Инозит (витамин B_8) широко распространен в растительных и животных тканях, содержится преимущественно в виде эфира фосфорной кислоты – фитина. Источником являются мясные продукты, овощи и фрукты. Суточная потребность 1-1.5 мг.

Оротовая кислота (витамин B_{13}) усиливает рост микроорганизмов у высших животных, включается в состав пиримидиновых нуклеотидов. Содержится в печени, молоке, дрожжах.

Витаминоподобные водорастворимые вещества



Липоевая кислота

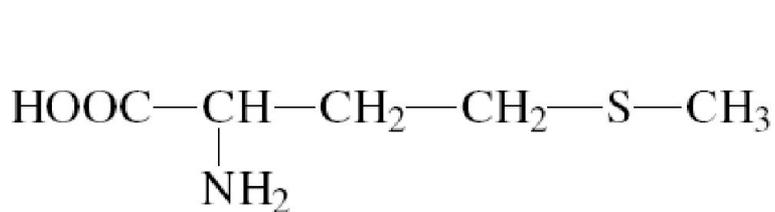


Пангамоновая кислота

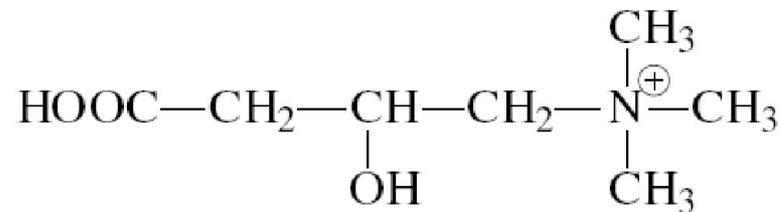
Липоевая кислота (витамин N) выполняет роль кофермента в реакциях окислительного декарбоксилирования α -кетокислот. Широко распространена в растениях и микроорганизмах. Суточная потребность 1-2 мг.

Пангамоновая кислота (витамин B₁₅) служит источником подвижных метильных групп. Участвует в биосинтезе холина, холинфосфатидов, креатина и др. улучшает тканевое дыхание, антиоксидант.

Витаминоподобные водорастворимые вещества



Метилметионин



Карнитин

Метилметионин (витамин U) является активной формой метионина. Участвует в синтезе холина и креатинина. Содержится в соках сырых овощей, особенно в капустном соке.

Карнитин (витамин B_T) участвует в переносе длинноцепочечных ацилов жирных кислот через мембраны митохондрий. Стимулирует функцию поджелудочной железы. Содержится в мясных продуктах.

Биометаллы

Функции металлов и их соединений в живых организмах чрезвычайно многообразны. Ионы металлов в живых организмах находятся или в гидратированном состоянии или в виде координационных соединений с биолигандами (в основном белками). На долю металлов приходится всего около 3% массы тела человека.

Десять металлов, жизненно необходимых для организма, получили название «металлы жизни». К ним относятся: кальций, калий, натрий, магний, железо, цинк, медь, марганец, молибден и кобальт.

На биологическую активность и токсичность соединений металлов влияет их растворимость в воде и липидных слоях клеточных мембран.

Биометаллы

Натрий. В организме взрослого человека содержание ионов натрия составляет около 100 г. 44% находится во внеклеточной жидкости, 9% во внутриклеточной, остальное в костной ткани. Основная роль катионов натрия заключается в участии в работе **«ионного насоса»**.

Калий. Содержание калия в организме около 160 г, 96% содержится внутри клеток и только 2% во внеклеточной жидкости. Ионы калия участвуют в поддержании осмотического давления, в процессах активации ферментов, сокращения мышц, проведения нервных импульсов.

Биометаллы

Магний. В организме человека содержится около 19 г магния (59% в костной ткани, дентине и эмали зубов). Ежедневное потребление магния 0.7 г. Магний стабилизирует ДНК, катализирует транскрипцию РНК, участвует в образовании активных форм АТФ и АМФ, является комплексообразователем в хлорофилле и распространенным активатором ферментов.

Кальций. Общее содержание около 1 кг (99% в костной и зубной тканях). Суточная потребность не менее 1 г, т. к. только 50% вводимого с пищей кальция усваивается организмом. Соединения кальция – главный строительный материал скелета (основной минерал гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). В жидкостях организма находится в ионизированном связанном с биолигандами состоянии.

Биометаллы

Медь. В организме содержится около 100 мг меди, причем 1/3 этого количества в мышечной ткани. В настоящее время известно около 25 медьсодержащих белков и ферментов (оксигеназы, гидролазы, оксидазы). Важным медьсодержащим белком является **церулоплазмин** – участвует в окислении железа (II) и транспорте ионов меди. **Гемоцианин** содержится в крови морских животных и участвует в процессе связывания и освобождения кислорода (в окисленной форме – синий).

Биометаллы

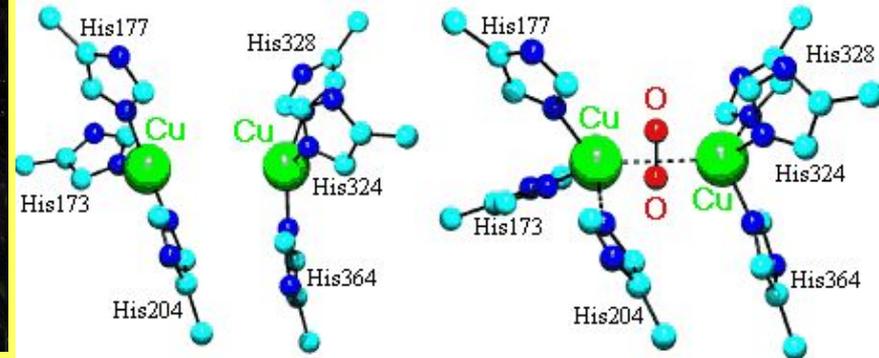


**Церулоплазмин
(ферроксидаза) –
медьсодержащий
гликопротеид,
относящийся к α_2 -
глобулиновой
фракции плазмы
крови
млекопитающих.**

Биометаллы



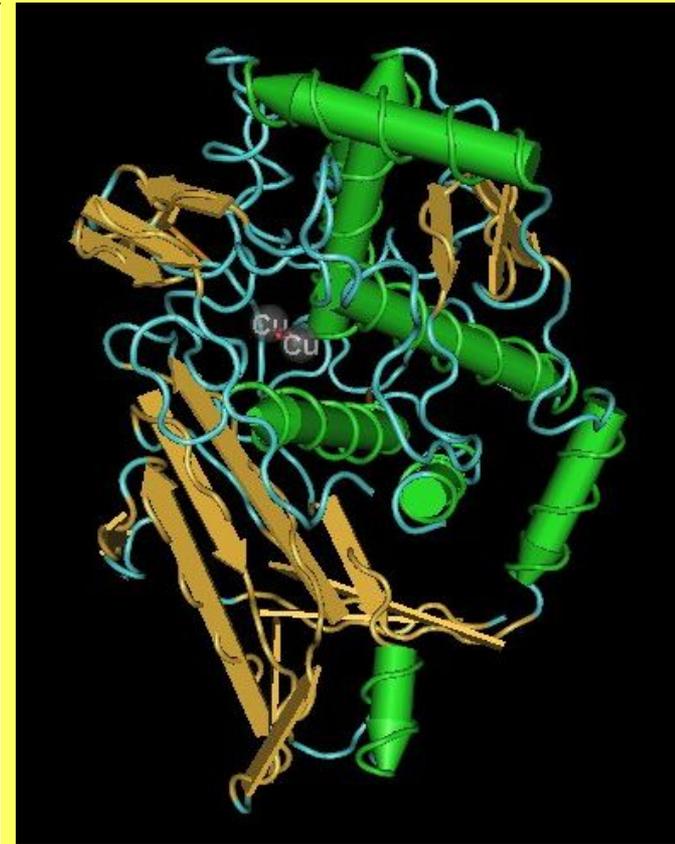
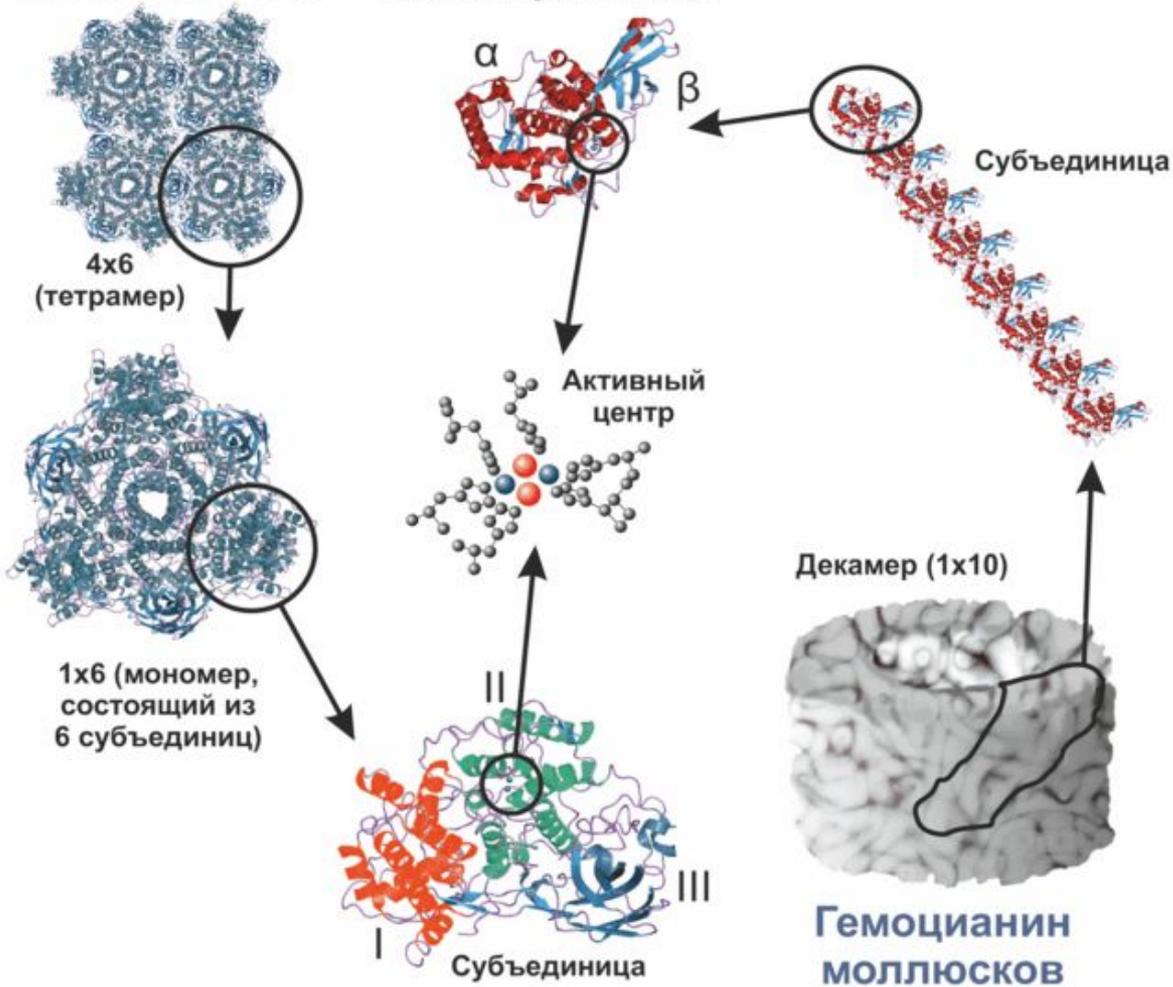
Нижняя часть тела краба *Cancer productus* имеет фиолетовый цвет благодаря гемоцианину .



Гемоцианин — дыхательный пигмент из группы металлопротеинов, является медьсодержащим функциональным аналогом гемоглобина, однако в отличие от него не содержит порфиринового цикла, медь в субъединице гемоцианина связана непосредственно с белковыми цепями. Встречается в крови моллюсков, членистоногих и онихофор.

Биометаллы

Гемоцианин членистоногих

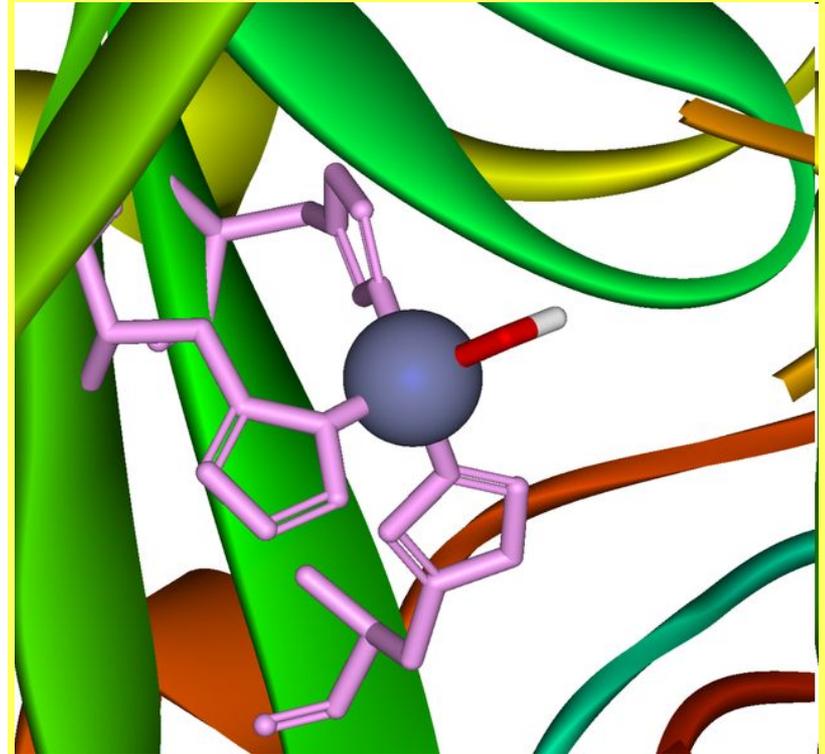


Оксигенированная субъединица гемоцианина осьминога.

Биометаллы

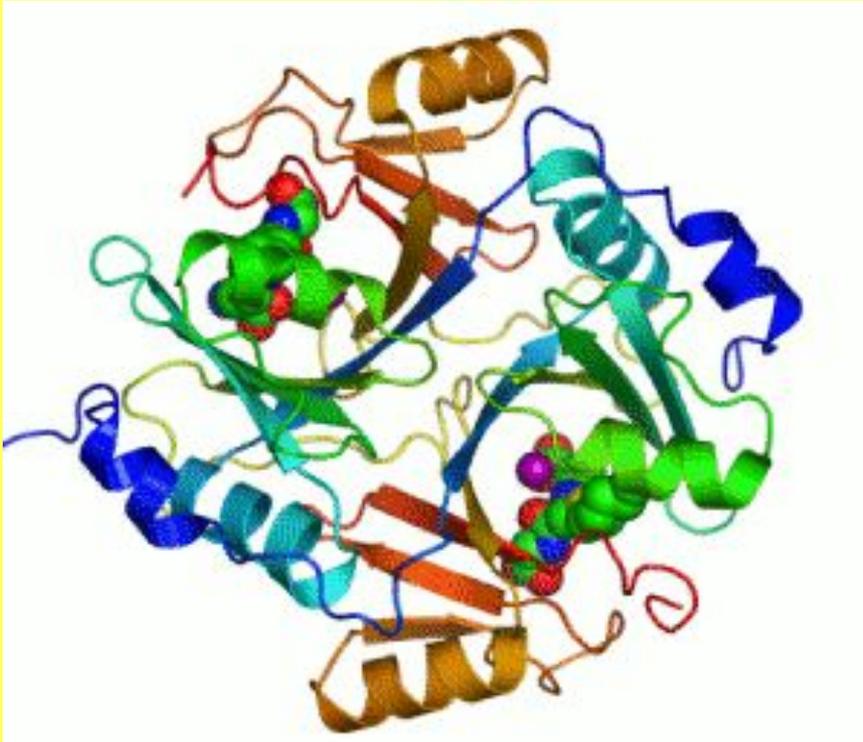
Цинк. В организме человека содержится 1.4-2.3 г цинка, который распределен в костях (20%), плазме (6%), мышцах (65%), эритроцитах, печени, поджелудочной железе. Цинк входит в состав более 40 ферментов, которые катализируют гидролиз пептидов, белков, некоторых эфиров и альдегидов. Наиболее изученным ферментом является карбоангидраза.

Карбоангидраза II



Ион цинка в центре. Справа показан активный центр, в котором ион цинка координационно связан с тремя остатками гистидина и гидроксильной группой.

Биометаллы



**Глиоксалаза I
(лактойглутатионлиаза
ЕС 4.4.1.5.)**

**Ионы цинка показаны в
виде двух фиолетовых
сфер.**

Биометаллы

Молибден. В биологических жидкостях устойчивы соединения молибдена со степенью окисления +5 и +6. В организме обнаружено около 9 мкг молибдена, из них 5 мкг в костях и 2 мкг в печени. Молибден входит в состав 7 ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции, связанные с переносом кислорода, обменом сложных белков в организмах животных и растений.

Биометаллы

Марганец. Является важным биогенным элементом. В органах и тканях содержится около 20 мг марганца. Марганец образует комплексы с белками, нуклеиновыми кислотами и аминокислотами, которые являются составной частью металлоферментов. Наиболее известны аргиназа, холинэстераза, пируваткарбоксилаза и др. Доказано участие марганца в биосинтезе хлорофилла, витамина С, витаминов группы В и других биосоединений.

Биометаллы

Железо. В организме человека содержится 5 г железа, большая часть которого (75%) сосредоточена в виде гемового комплекса в гемоглобине крови, миоглобине мышц и некоторых гемсодержащих ферментах. Железо присутствует во всех клетках живого организма.

Кобальт. Присутствует в растительных и животных тканях. В организме взрослого человека содержится около 1.2 мг кобальта. Большая часть этого количества находится в костях и мышцах (главным образом в виде витамина B_{12}). Благодаря участию витамина B_{12} в ферментативных процессах, кобальт влияет на обмен углеводов, белков, липидов и минеральных соединений, участвует в процессе кроветворения.