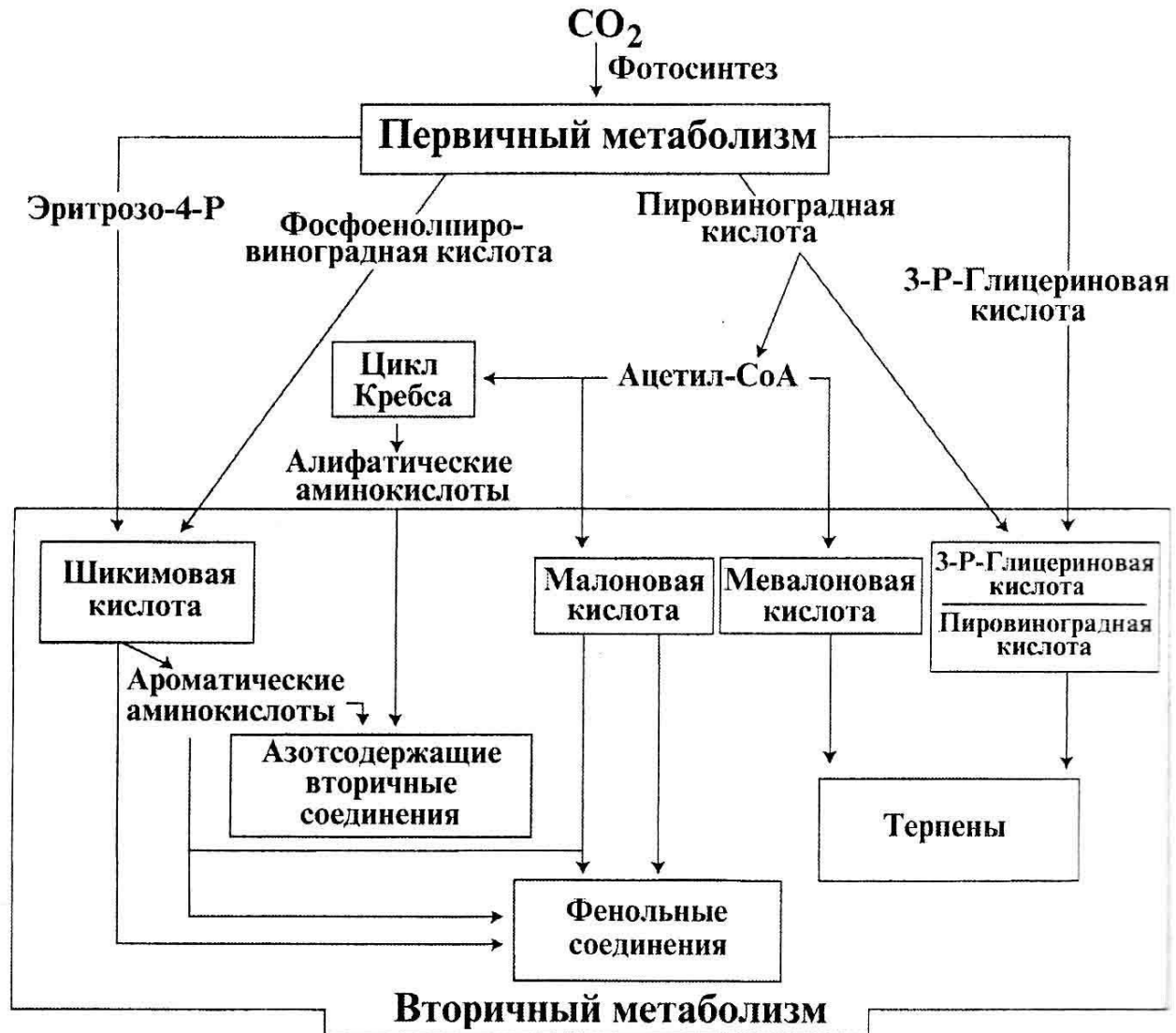


Вторичный метаболизм растений

Под вторичными метаболитами понимают различные вещества, не участвующие в первичном метаболизме, т.е. в таких процессах, как дыхание, фотосинтез, синтез белков, нуклеиновых кислот и липидов.

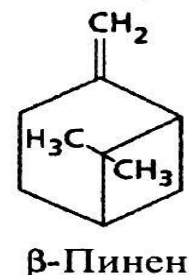
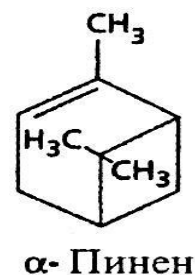
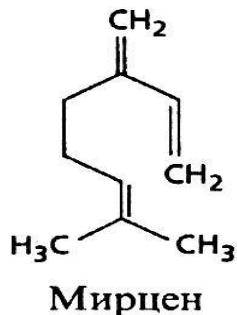
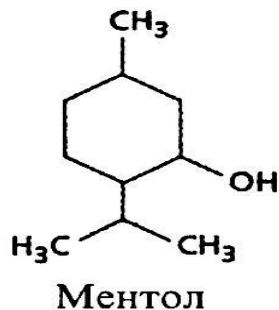
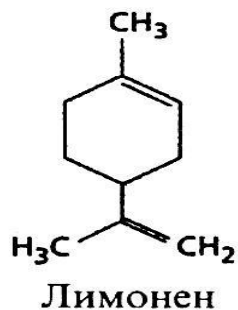
В настоящее время известно более 45000 веществ вторичного метаболизма (Kutchan, 2001). Вторичные метаболиты рассматриваются как один из основных элементов взаимодействия растения со средой.

Вторичный метаболизм растений может быть разделен на синтез трех групп веществ вторичного происхождения — **терпенов, фенолов и азотсодержащих соединений.**

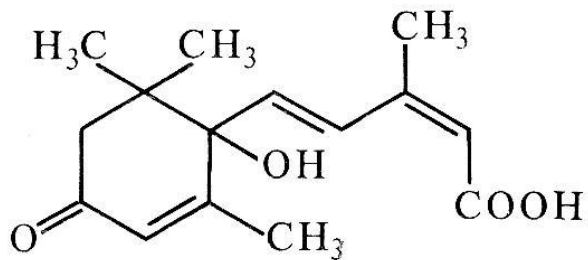


Терпены, или **терпеноиды** являются производными изопрена и образуются или из ацетил-СоА и мевалоновой кислоты, или из основных продуктов гликолиза — 3-Р-глицериновой кислоты и/или пирувата. Основным структурным элементом всех терпенов является 5-углеродное соединение — изопрен, поэтому их иногда называли изопреноидами. Терпены классифицируются в зависимости от количества остатков изопрена в молекуле.

Различают **монотерпены** (построены на основе двух молекул изопрена и содержат 10 углеродных атомов). Основными монотерпенами смолы хвойных (сосна *Pinus silvestris* и пихта *Abies*) являются **α-пинен**, **β-пинен**, **лимонен** и **мирцен**:

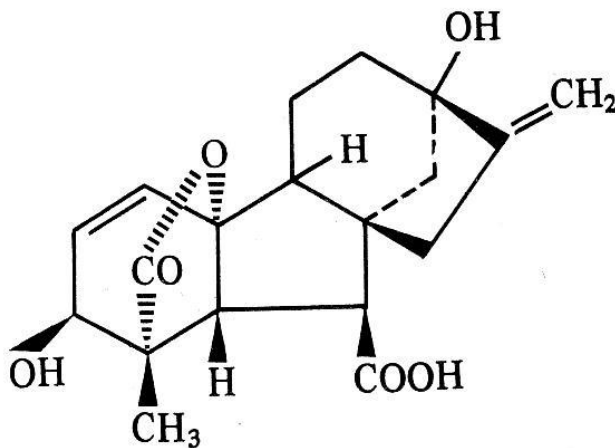


сесквитерпены (C15-соединения)



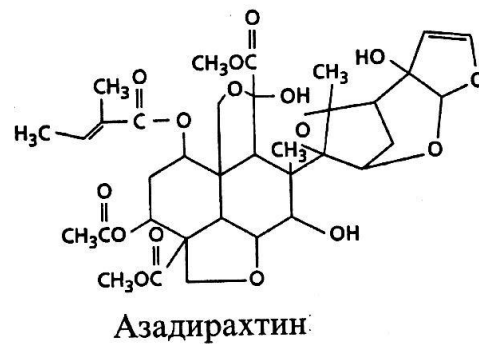
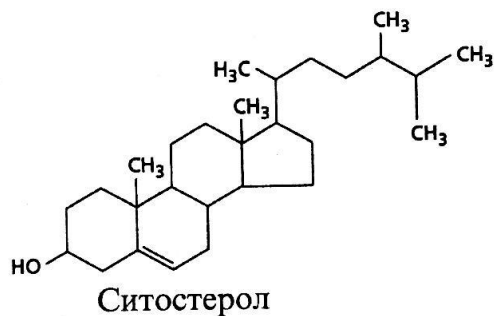
абсцизовая кислота

дитерпены (стоят из 20 атомов углерода)



гиббереллин

тритерпены и стероиды (С30-соединения)



Тритерпены очень токсичны для позвоночных животных: **карденолиды и сапонины**. Карденолиды представляют собой очень горькие на вкус гликозиды, т. е. стероиды, которые содержат моносахарид(ы). Они нарушают работу сердечной мышцы млекопитающих и человека за счет изменений в функционировании Na/K-АТФазы. Получают карденолиды из наперстянки *Digitalis*.

Растения батата *Dioscorea* содержат сапонин ямогенин, который является основой для синтеза прогестерон-подобных соединений, используемых при контрацепции.



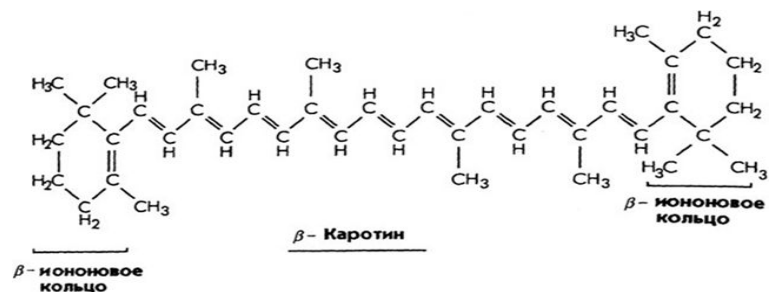
наперстянка пурпуровая



батат

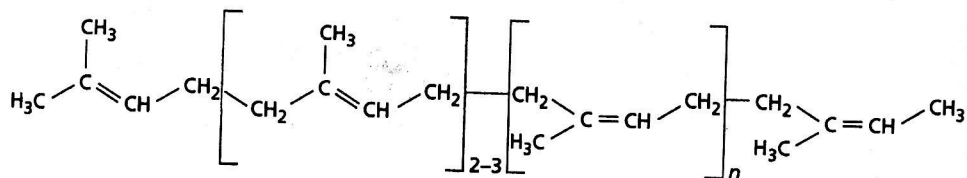
тетратерпены (состоят из 8 молекул изопрена)

каротиноиды являются производными тетратерпенов



политерпены (количество атомов углерода более 40)

К политерпенам относится каучук — полимер, содержащий 1500-15000 остатков изопентенила. Каучук содержится в таких каучуконосных растениях, как бразильская гевея *Hevea brasiliensis*, манихот *Manihot*, фикус *Ficus elastica*



гевея бразильская



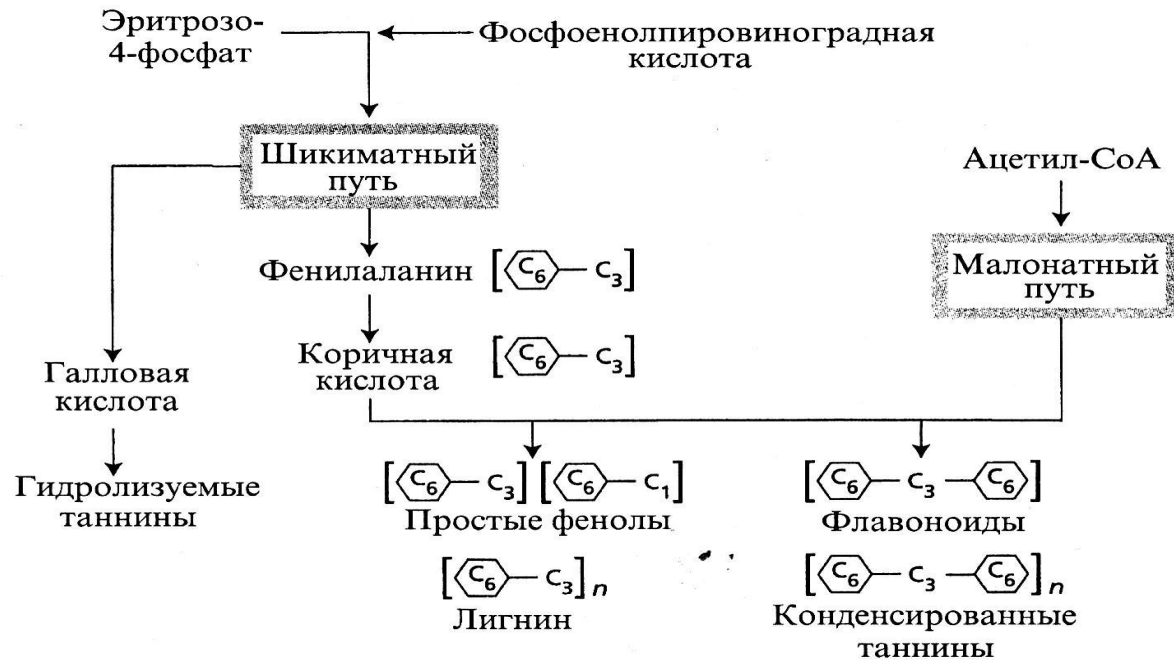
манихот



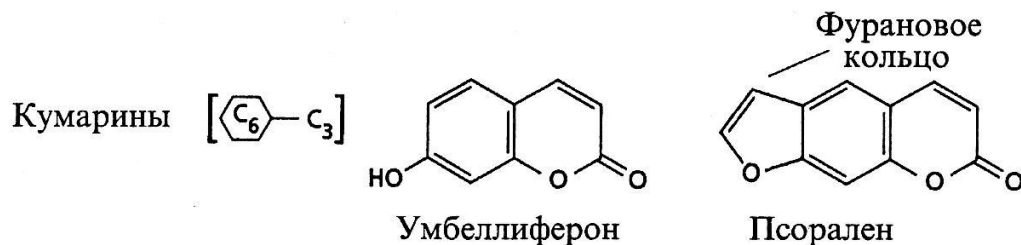
фикус каучуконосный

Фенольные соединения

Фенольными соединениями называют вещества, содержащие ароматические кольца с гидроксильной группой, а также их различные производные, включая гликозиды. Фенольные соединения играют активную роль в самых различных физиологических процессах — фотосинтезе, дыхании, росте, защитных реакциях растительного организма. Они выполняют механические и структурные функции (лигнин), а также являются аттрактантами (антоцианы) для насекомых-опылителей и животных-распространителей семян.



Выделяют пять групп фенольных соединений: **простые фенилпропаноиды**, **фенилпропаноидные лактоны** (циклические эфиры), называемые кумаринами, **бензойная кислота**, **флавоноиды**, **фенилпропаноидные спирты**, являющиеся предшественниками лигнина:



Кумарины

В защите растений от насекомых и грибов наибольший интерес представляют **фуранокумарины**. Особенно много токсичных форм фуранокумаринов в растениях семейства *Umbelliferae* (зонтичные), которое включает такие виды, как петрушка *Petroselinum sativum* (1), сельдерей *Apium graveolens* (2), пастернак *Pastinaca sativa* (3).



Флавоноиды

Флавоноиды являются одним из самых больших классов фенольных соединений. Их основной углеродный скелет содержит 15 атомов углерода. При этом два ароматических кольца связаны тремя углеродными атомами (С6—С3—С6). Молекула флавоноида содержит два бензольных ядра и одно гетероциклическое кислородсодержащее (пирановое) кольцо .

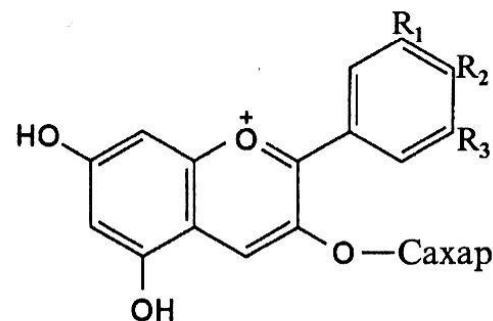
Флавоноиды разделяют на **флавононы**, **антоцианы** (дигидрофлавонолы), **катехины**, **флавоны** и **флавонолы**.

Флавононы особенно часто встречаются в плодах различных видов цитрусовых (в кожуре грейпфрута **нарингенин**, в кожуре апельсина и мандарина **гесперидин**).

Антоцианы являются основными красящими веществами растений, придают растительным тканям более широкий спектр оттенков от розового до

черно-фиолетового. Антоцианы локализованы в вакуолях.
Катехины — это наиболее восстановленная группа флавоноидных соединений.

Содержатся в плодах (яблоки, груши, вишня, айва, персики, абрикосы) и ягодах (ежевика, земляника, брусника, смородина, малина, виноград).



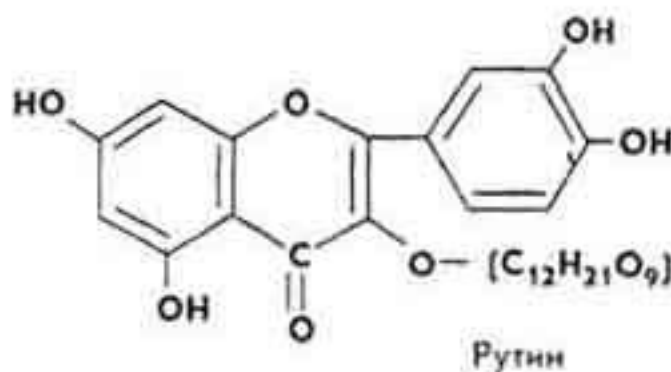
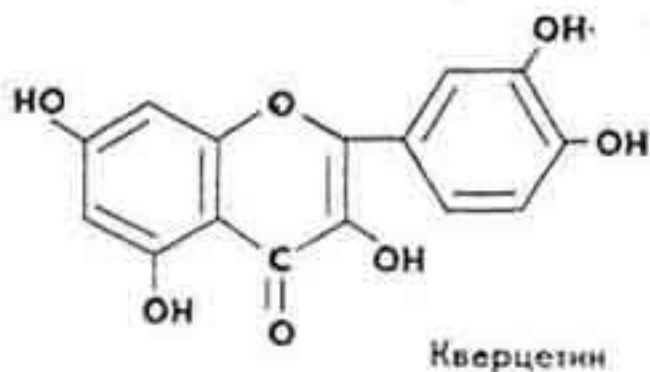
Строение антоцианов

Флавоны

Относится **апигенин**, содержащийся в петрушке и цветках хризантемы, **трицин**, найденный в пшенице, рисе и люцерне.

Флавонолы

Относится **кемпферол**, **кверцетин** и **мирицетин**. Особенно часто в растениях встречается рамногликозид кверцетина — рутин, широко используемый в медицине как капилляроукрепляющее средство.

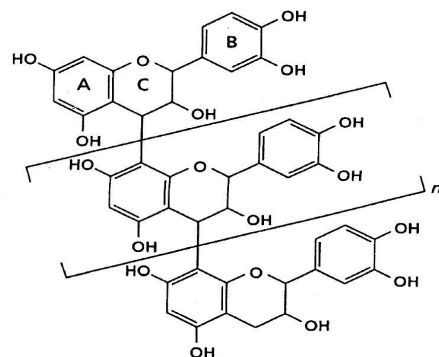


Важнейшей функцией флавонов и флавонолов является защита растительных тканей (в первую очередь, эпидермальных) от ультрафиолетовой радиации. Благодаря этому клетки эпидермиса листьев, пропуская 70-80% видимого света, способны задерживать до 95% ультрафиолетового излучения.

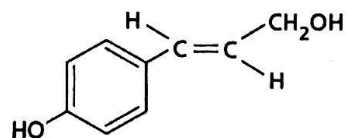
Таннины и лигнин

Полимеры фенольной природы: дубильные вещества (таннины) и лигнин.

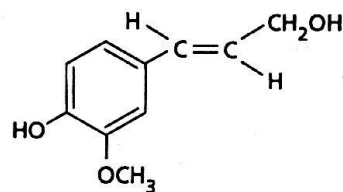
Таннины содержат чай, красное вино, яблоки, смородина, оказывают вяжущее действие. Образуются только из фенолов флавонового типа:



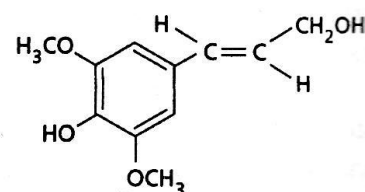
Лигнин представляет собой сильно разветвленный полимер, состоящий из трех фенолпропаноидных спиртов: кониферилового, пара-кумарового и синапового:



пара-Кумаровый спирт



Кониферильный спирт






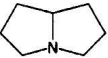
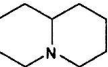
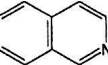
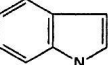
Синаповый спирт

Он выполняет защитные функции: лигнификация тканей, с одной стороны, делает их несъедобными для большинства вредителей, а с другой — блокирует дальнейшее распространение патогенов.

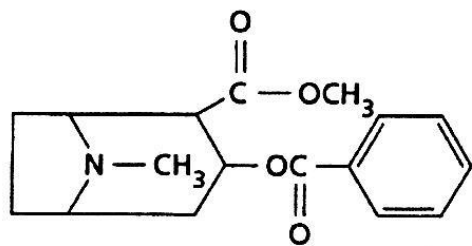
АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ВТОРИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА

К азотсодержащим вторичным метаболитам относят **алкалоиды** и **цианидсодержащие гликозиды**. Алкалоиды и цианогенные гликозиды представляют собой чрезвычайно активные вещества, оказывающие сильное фармакологическое воздействие на животный организм; многие из них являются ядами.

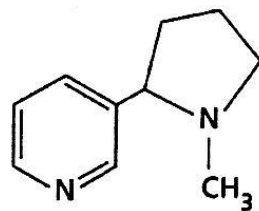
Основные типы **алкалоидов**

Тип алкалоида	Структура	Предшественник	Примеры
Пирролидины		Орнитин	Никотин
Производные тропана		Орнитин	Атропин, кокаин
Группа пиперидина		Лизин или ацетат	Кониин
Группа пирролизидина		Орнитин	Ретрорсин
Группа хинолизидина		Лизин	Лупинин
Изохинолины		Тирозин	Кодеин, морфин
Производные индола		Триптофан	Резерпин, стрихнин

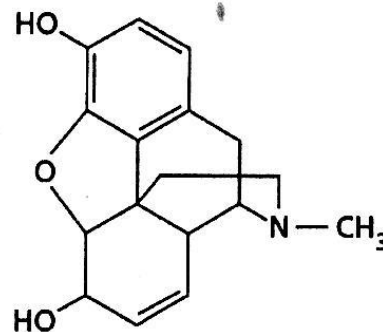
Алкалоиды оказывают токсичное воздействие и на человека. Однако в малых дозах некоторые из них (морфин, кодеин, эфедрин, атропин) используются как эффективные фармакологические препараты. В состав латекса опийного мака *Papaver somniferum* входит сразу несколько очень важных для фармакологии алкалоидов — морфин, кодеин и папаверин. Ряд других алкалоидов (никотин, кофеин, кокаин) часто применяют как стимуляторы или седативные средства.



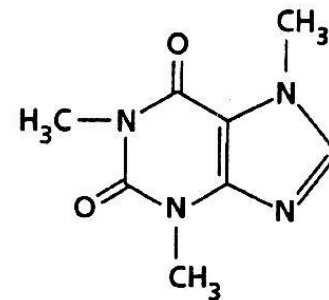
Кокаин



Никотин

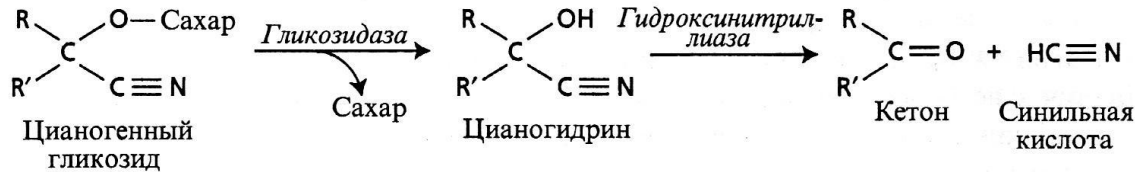


Морфин



Кофеин

Цианогенные гликозиды и глюкозинолаты



Цианогенные гликозиды часто встречаются у представителей бобовых, розоцветных и некоторых злаков. Их много также в клубнях маниока *Manihot esculenta*, содержащих большое количество крахмала.



Manihot esculenta

Глюкозинолаты

При повреждении растительных тканей происходит смешивание глюкозинолатов с соответствующими ферментами и превращение их в летучие токсичные вещества с горчичным запахом — **изотиоцианаты** и **нитрилы**:

