A close-up photograph of a white flower with a prominent purple center. The petals are soft and layered, with some showing a slight purple tint. The background is dark, making the flower stand out. A semi-transparent black box with white text is overlaid on the right side of the image.

# ПАРАЗИТЫ И СИМБИОНТЫ РАСТЕНИЙ: С КЕМ ДРУЖАТ И ВРАЖДУЮТ РАСТЕНИЯ

---

ВИШНЕВСКАЯ АННА ИГОРЕВНА

# Биотические взаимоотношения

Симбиоз

Взаимовыгодное отношение двух видов.

Комменсализм

Мутуализм

Кооперация

Антибиоз

Взаимо-не-выгодное (?) отношение двух видов.

Конкуренция

Хищничество

Паразитизм

*«Есть люди, рассчитывающие на недостатки своих врагов; из этого, однако, ничего не выходит. Я всегда имел в виду заслуги моих противников и извлекал из этого пользу.» (с)  
И.В. Гёте*

# Симбиоз

Для получения  
минеральных веществ

С грибами



Микориза

С бактериями



**Клубеньковые бактерии**

**(*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*)**

Бобовые и *Parasponia* sp.

**Frankia**

- Облепиха, *Hippóphaë* sp. (сем. *Elaeagnácea*),
  - Ольха, *Álnus* sp. (сем. *Betulaceae*)
  - Восковница, *Myŕica* sp. (сем. *Myricácea*)
- И другие

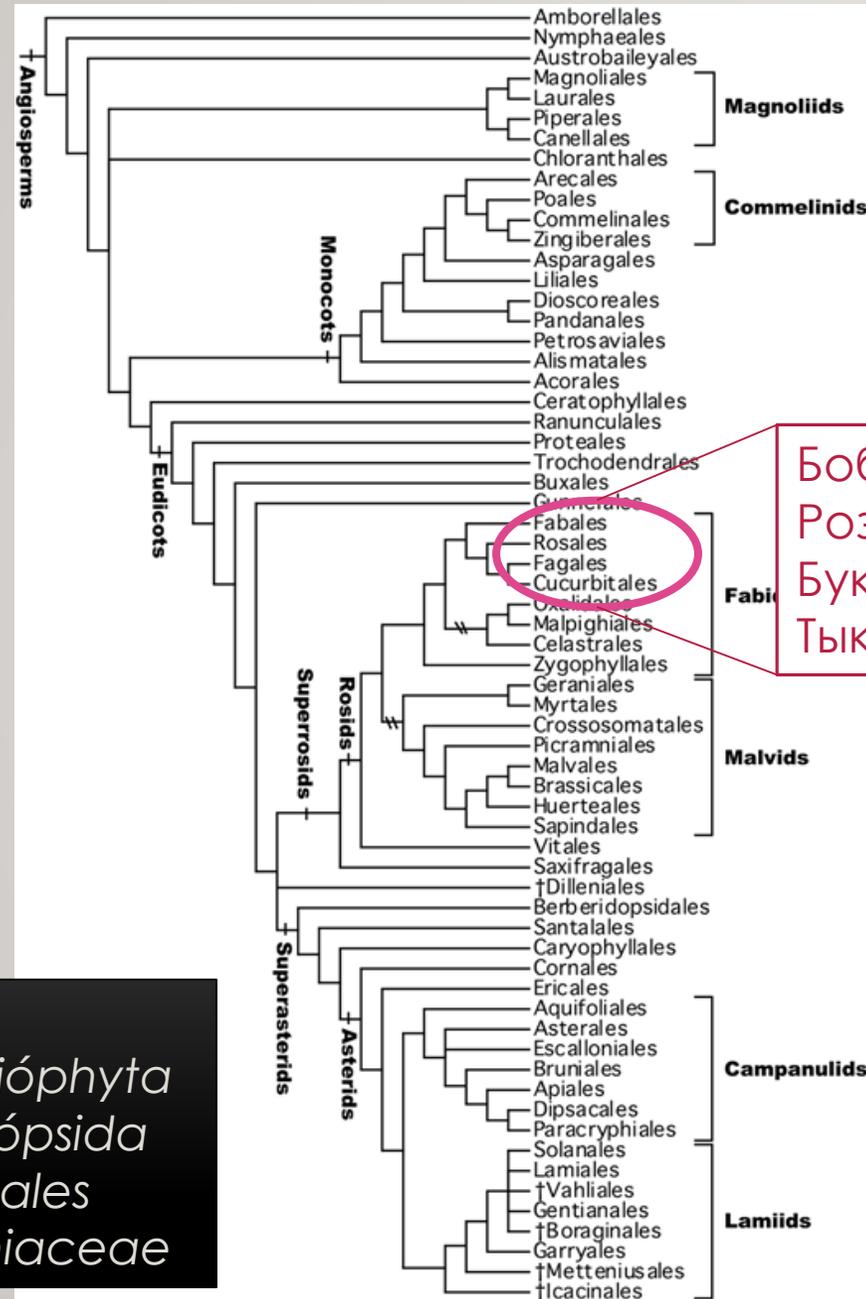
**Nostoc**

*Azolla* sp. (Polypodiópsida)  
*Zamia* sp. (Cycadopsida)



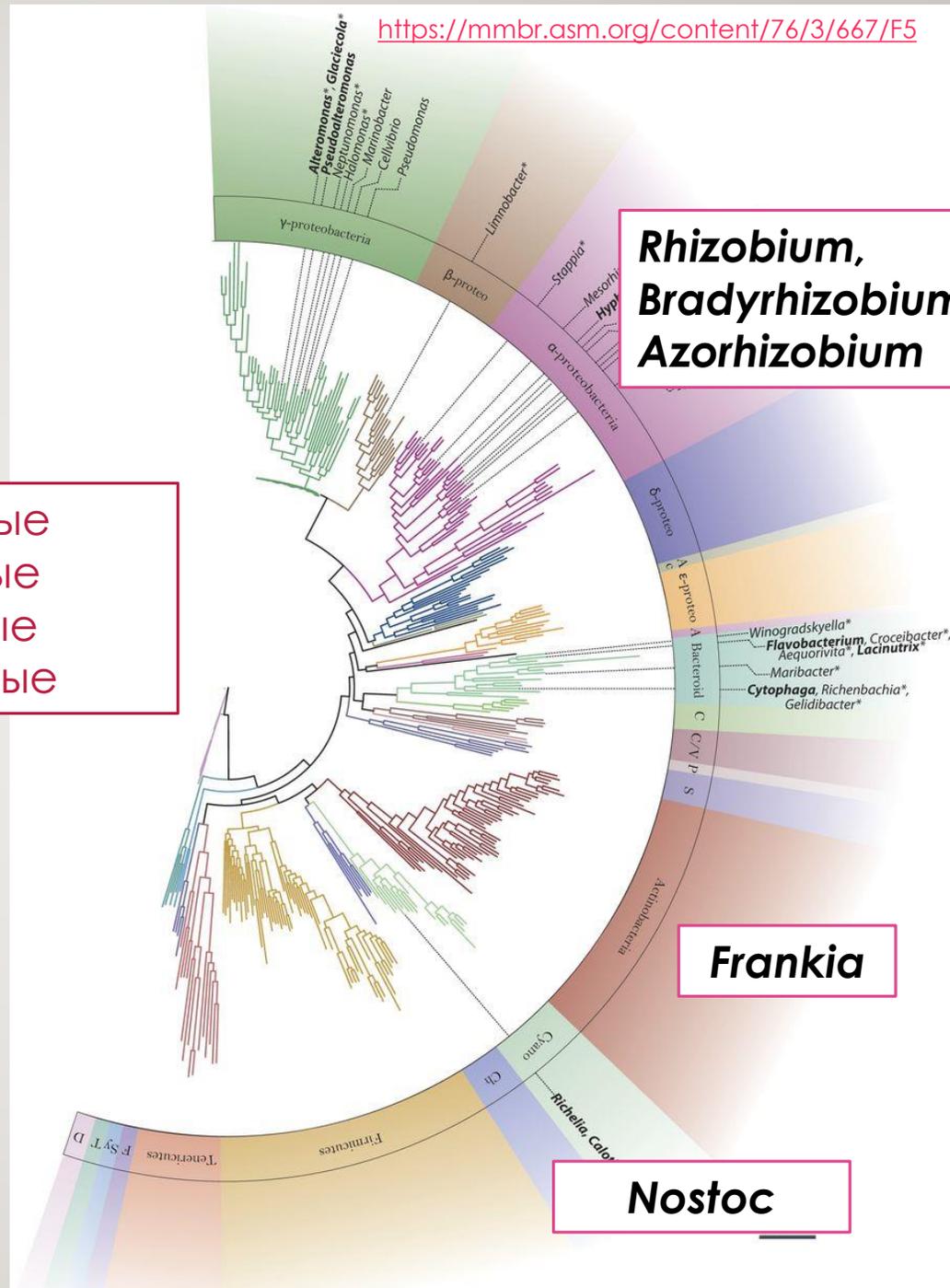
Агеотропные корни

# Кто эти организмы друг другу?

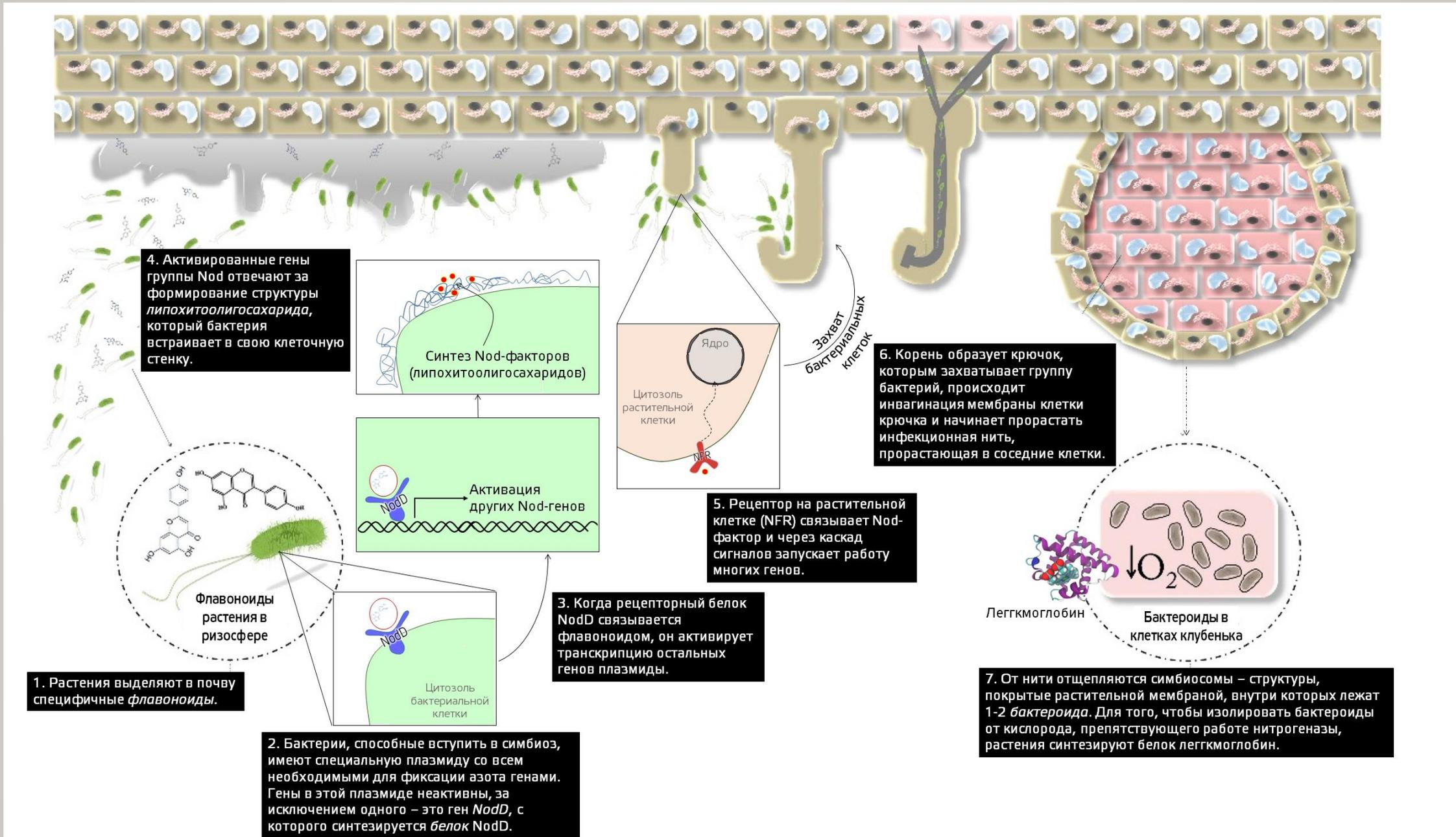


Бобоцветные  
Розоцветные  
Букоцветные  
Тыквоцветные

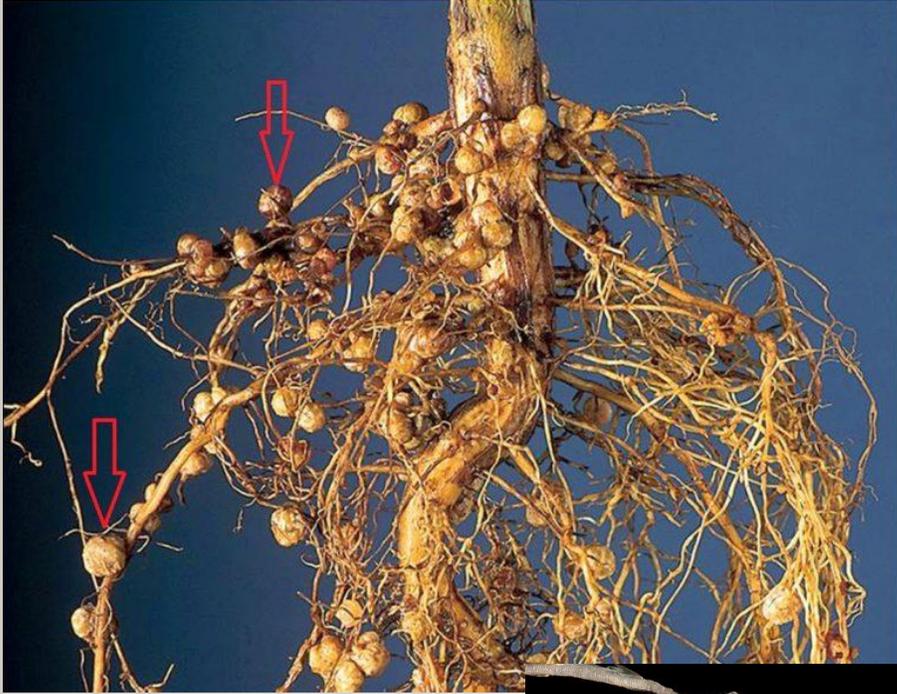
Azolla sp.  
O. Polypodióphyta  
K. Polypodiópsida  
Пор. Salviniiales  
Сем. Salviniaceae



# С чего начинается симбиоз?



# Клубеньки



Электронномикроскопическая фотография поперечного среза через клубенек сои, инфицированной *Bradyrhizobium japonicum*.

Клубеньки разных представителей бобовых (видоизменения боковых корней)

*Frankia* sp. обладает собственной защитой от высокого парциального давления кислорода и поэтому способна фиксировать азот в свободноживущих (почвенных) стадиях. *Rhizobium* sp. же никогда не фиксируют азот вне симбиоза.

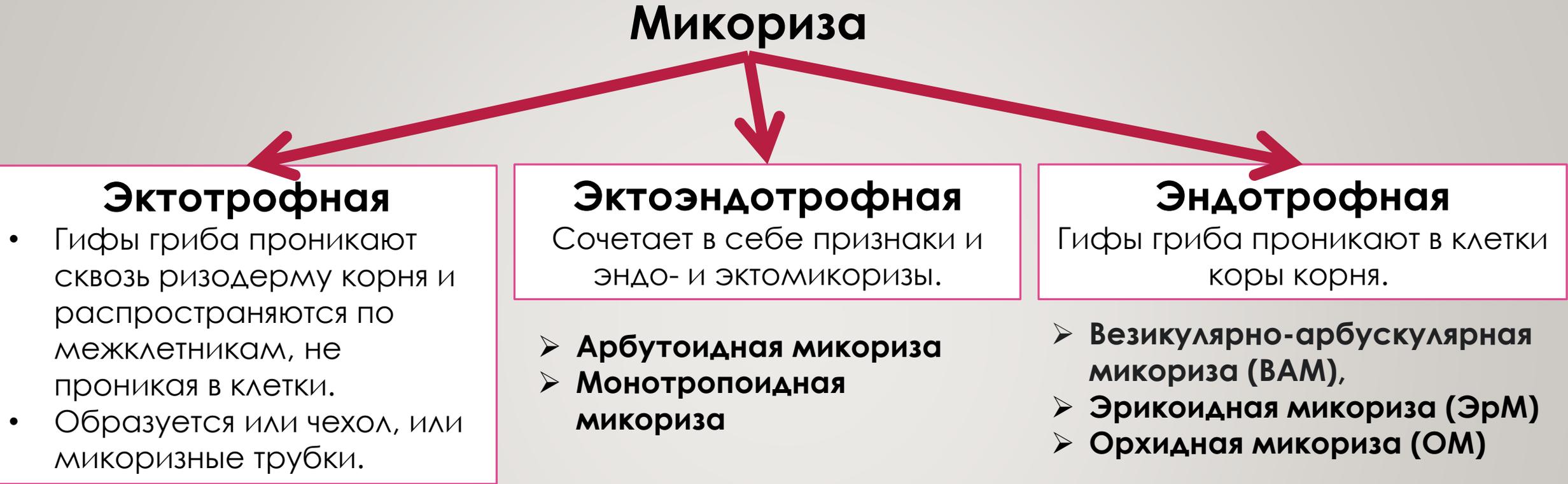


Клубеньки ольхи,  
*Alnus incana*



# Симбиоз: растение + гриб

## Микориза



### Эктотрофная

- Гифы гриба проникают сквозь ризодерму корня и распространяются по межклетникам, не проникая в клетки.
- Образуется или чехол, или микоризные трубки.

### Эктоэндотрофная

Сочетает в себе признаки и эндо- и эктомикоризы.

- Арбутоидная микориза
- Монотропоидная микориза

### Эндотрофная

Гифы гриба проникают в клетки коры корня.

- Везикулярно-арбускулярная микориза (ВАМ),
- Эрикоидная микориза (ЭрМ)
- Орхидная микориза (ОМ)

Со стороны высших растений участвуют многие споровые, все голосеменные, около 70 % однодольных и 80—90 % двудольных. Также большинство печеночников и антоцеротовых образуют микоризоподобные симбиозы.

Со стороны грибов — аскомицеты, базидиомицеты и зигомицеты.

# Давняя дружба (симбиоз)

*Геохронологическая шкала*

Археозойная эра	4000-2500 млн лет назад		
Протерозойская эра	2500-541 млн лет назад		
Палеозойская эра	541-252 млн лет назад	Кембрийский период	541-485 млн
		Ордовский период	485-443 млн
		Силурийский период	443-419 млн
		Девонский период	419-359 млн
		Каменноугольный период	359-298 млн
		Пермский период	298 - 252 млн
Мезозойская эра	252-137 млн лет назад	Триасовый период	252-201 млн
		Юрский период	201-145 млн
		Меловой период	145 - 66 млн
Кайнозойская эра	66-сейчас млн	Палеогеновый период	66-23 млн
		Неогеновый период	23 - 2,58 млн
		Антропогеновый период	2,58-now

- ВАМ появились 460 млн. лет назад, предшествуя появлению сосудистых растений (ордовик).
- Первые выходцы на сушу уже имели микоризы (*Rhynia*), еще до появления настоящих корней.
- Развитие эктомикориз, эрикоидных и орхидных микориз, как и безмикоризных корней связано с быстрой радиацией покрытосеменных в меловом периоде. Растения с эрикоидными микоризами имеют возраст не менее 80 млн. лет.
- Основные ветви эволюции эктомикориз связаны с Fagales и Pinaceae, в остальных группах этот тип микориз возникал независимо не менее 9 раз!

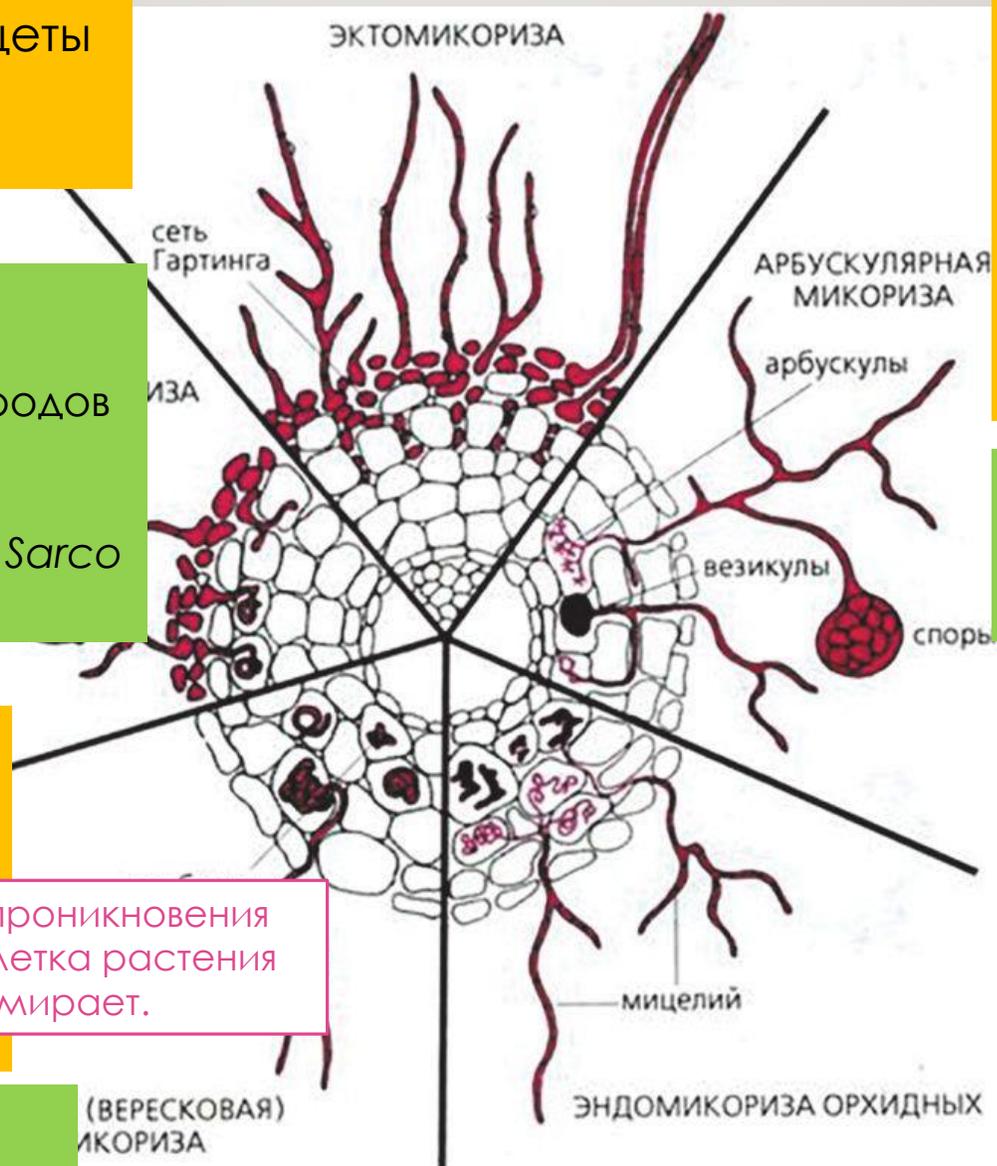
Арбутоидная – базидиомицеты  
(*Cortinarius, Amanita*).

Монотропоидная – базидиомицеты  
(*Agaricales*).

Зигомицеты пор.  
*Endogonales* (или в отд.пор.  
*Glomales*) около 120 видов  
грибов из родов  
*Acaulospora, Gigaspora,*  
*Glomus* и др.

Некоторые систематики  
сейчас выделяют в особую  
ветвь – *Glomeromycota*.

80% всех семенных  
растений, в т.ч. картофель,  
рис, пшеница и др.



Арбутоидная: Растения семейства  
вересковые (*Ericaceae*) из родов  
*Arbutus, Arctostaphylos*, нескольких родов  
трибы *Pyroleae*.

Монотропоидная:  
родам *Monotropa, Monotropastrum, Sarcodes,*  
*Pterospora*.

Главным образом,  
дискомицет *Hymenoscyphus*  
(*Pezizella*)  
*ericae* и редко  
несовершенный гриб  
*Oidiodendron*.

После проникновения  
гриба клетка растения  
умирает.

Растения порядка  
верескоцветные (*Ericales*).

# Чехольчатая микориза

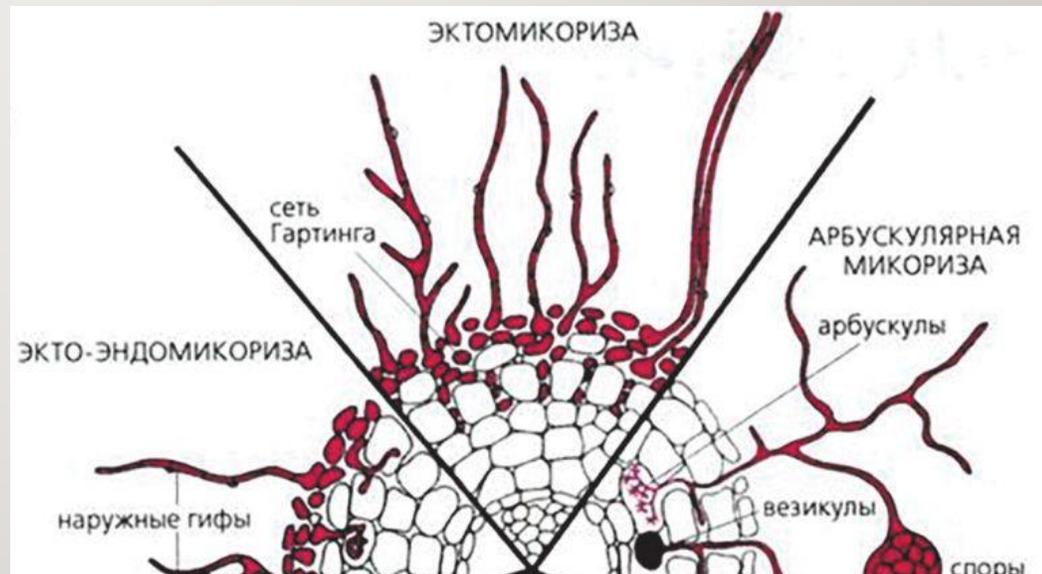
Главным образом, доминирующие виды деревьев лесов умеренного пояса из *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Leguminosae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*.

В тропиках эктомикоризны представители семейств *Dipterocarpaceae* и *Myrtaceae* (*Eucalyptus*).

Шляпочные базидиомицеты пор. *Agaricales*.



Чехольчатая микориза: апикальный рост корней снижен, а ветвление повышено.



# Эндомикориза орхидных

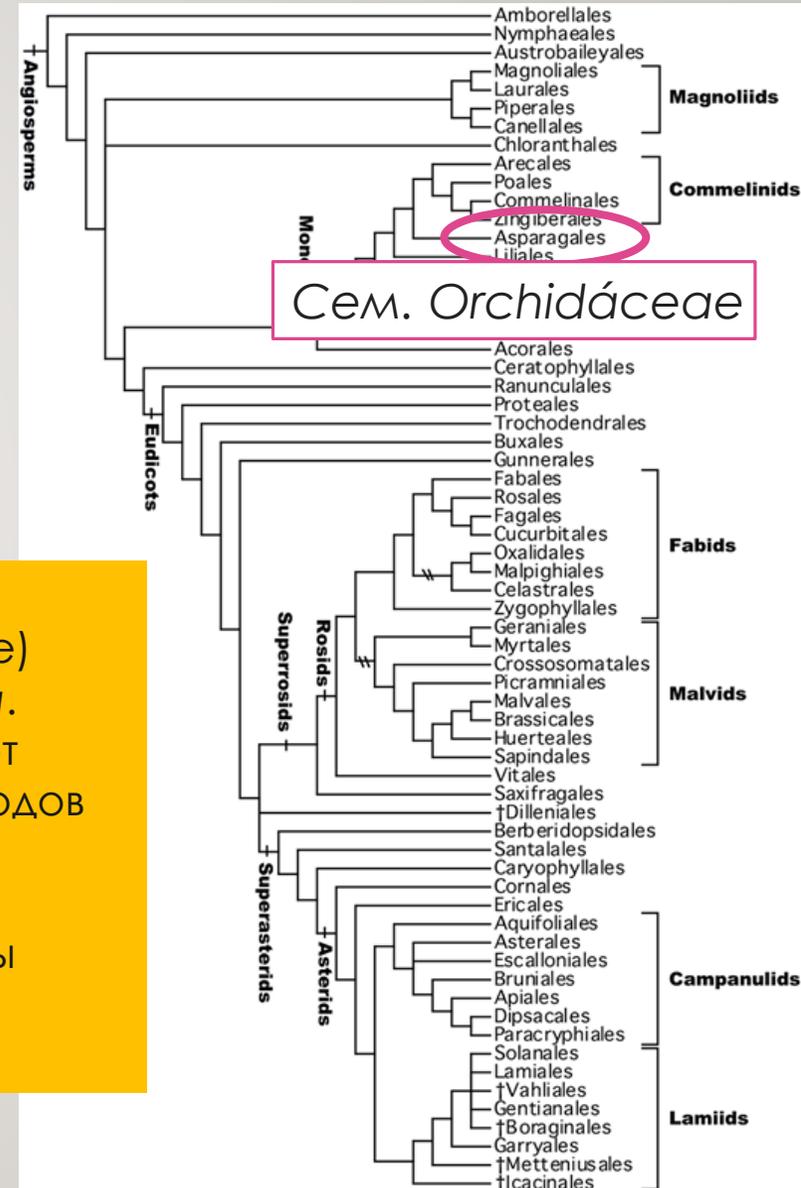


В семени всего несколько клеток эндосперма и предзародыш.

Клетки орхидных никогда не умирают от эндомикоризы, а способны ее лизировать, а потом заражаться снова.

Орхидные способны питаться гетеротрофно за счет гриба почти на протяжении 20 лет.

Базидиомицеты или их несовершенные (анаморфные) стадии, близкие к р. *Rhizoctonia*. Европейские орхидеи образуют симбиоз с представителями родов (анаморфы) *Ceratorhiza*, *Moniliopsis*, *Epulorhiza*. Соответствующие телеоморфы относятся к родам *Tulasnella*, *Ceratobasidium*, *Thanatephorus*.



# Выгодная дружба – первый шаг к паразитизму



Надбородник безлиственный (*Epirógium arhýllum*)  
Сем. *Orchidáceae*

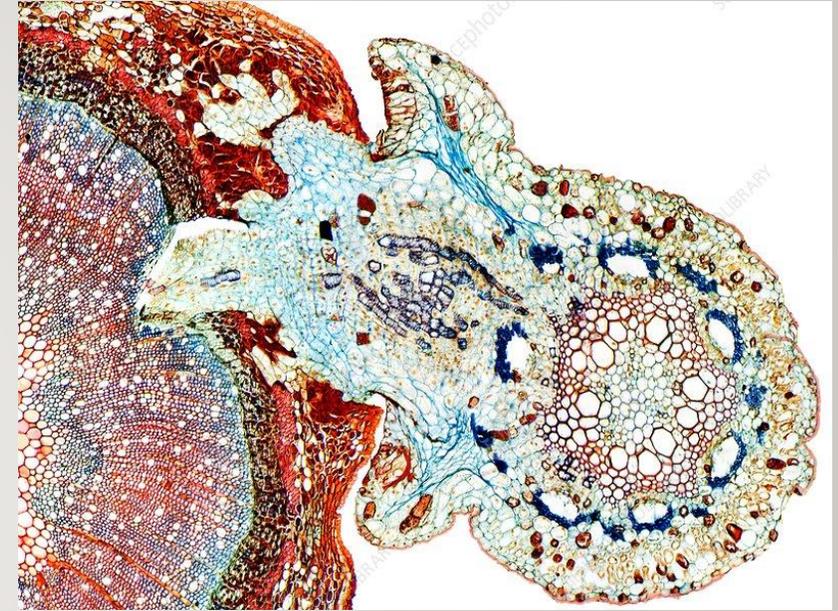


Корневище коралловидной  
формы

Предпочитает размножаться  
вегетативно с помощью  
корневища.

# Растения паразиты

1. Облигатные паразиты — паразиты, неспособные существовать без донора.
2. Факультативные паразиты — паразиты, способные существовать без донора.
3. Стеблевые паразиты — паразиты, у которых формирование гаусторий происходит из тканей стебля.
4. Корневые паразиты — паразиты, у которых формирование гаусторий происходит из тканей корня.
5. Голопаразиты — растения, которые полностью паразитируют на других растениях и фактически не имеют хлорофилла. Голопаразиты всегда являются облигатными.
6. Полупаразиты — паразитирующие растения, которые также в какой-то степени осуществляет фотосинтез.



Гаустория на стебле повилики,  
*Cūscuta*

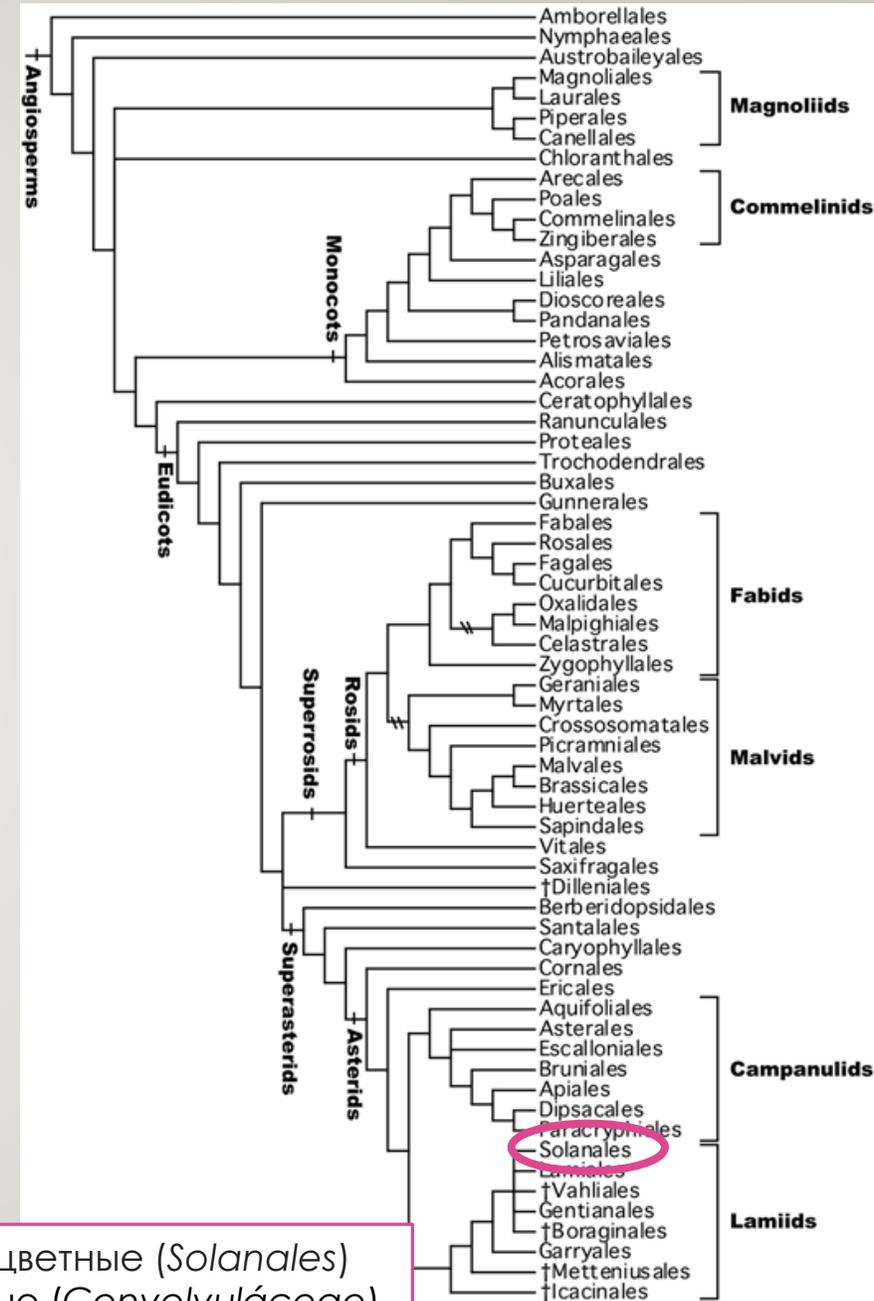
Среди покрытосеменных растений – около 19 семейств имеют паразитические виды. Известен также один вид голосеменного растения-паразита. и часть органических веществ.

*Cūscuta sp.* - стеблевой голопаразит.



Паразитирует на разнообразных видах, в том числе на картофеле, льне, джете, канафе.

- Не имеет корней и листьев. Стебель имеет видоизменения – гаустории.
- Зародыш у повилик спирально согнутый, нитевидный, без семядолей и корешка.
- Семена сохраняют всхожесть в почве в течение 8—10 лет и не теряют её при прохождении через пищеварительный тракт животных.



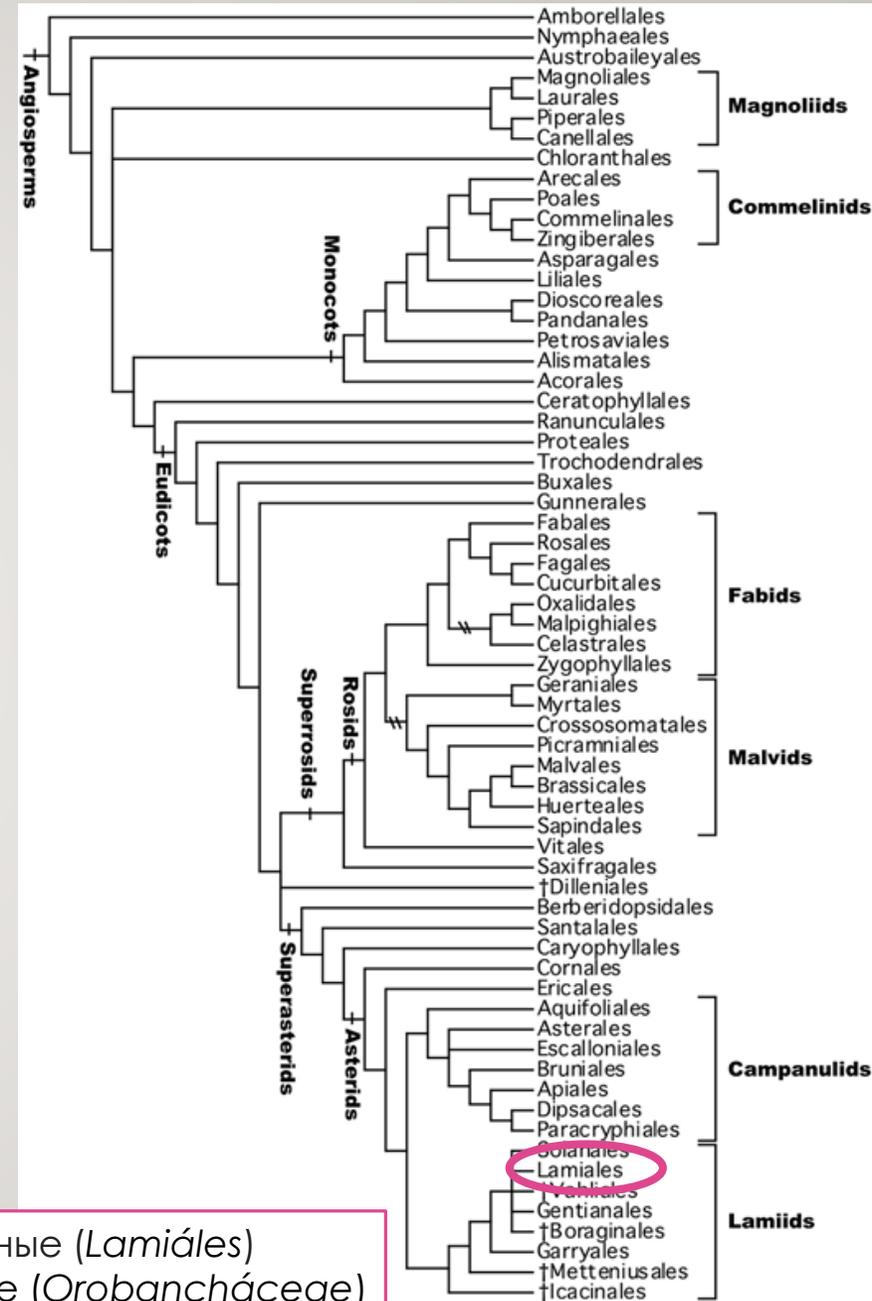
Пор. Паслёноцветные (*Solanales*)  
Сем. Вьюнковые (*Convolvuláceae*)

Петров крест, *Lathraea* sp. – корневой голопаразит.



- Полностью отсутствует хлорофилл.
- Листья видоизмененные в мясистые чешуи.
- Первые годы растение развивает подземное корневище.

Паразитирует на многих древесных и кустарниковых растениях.



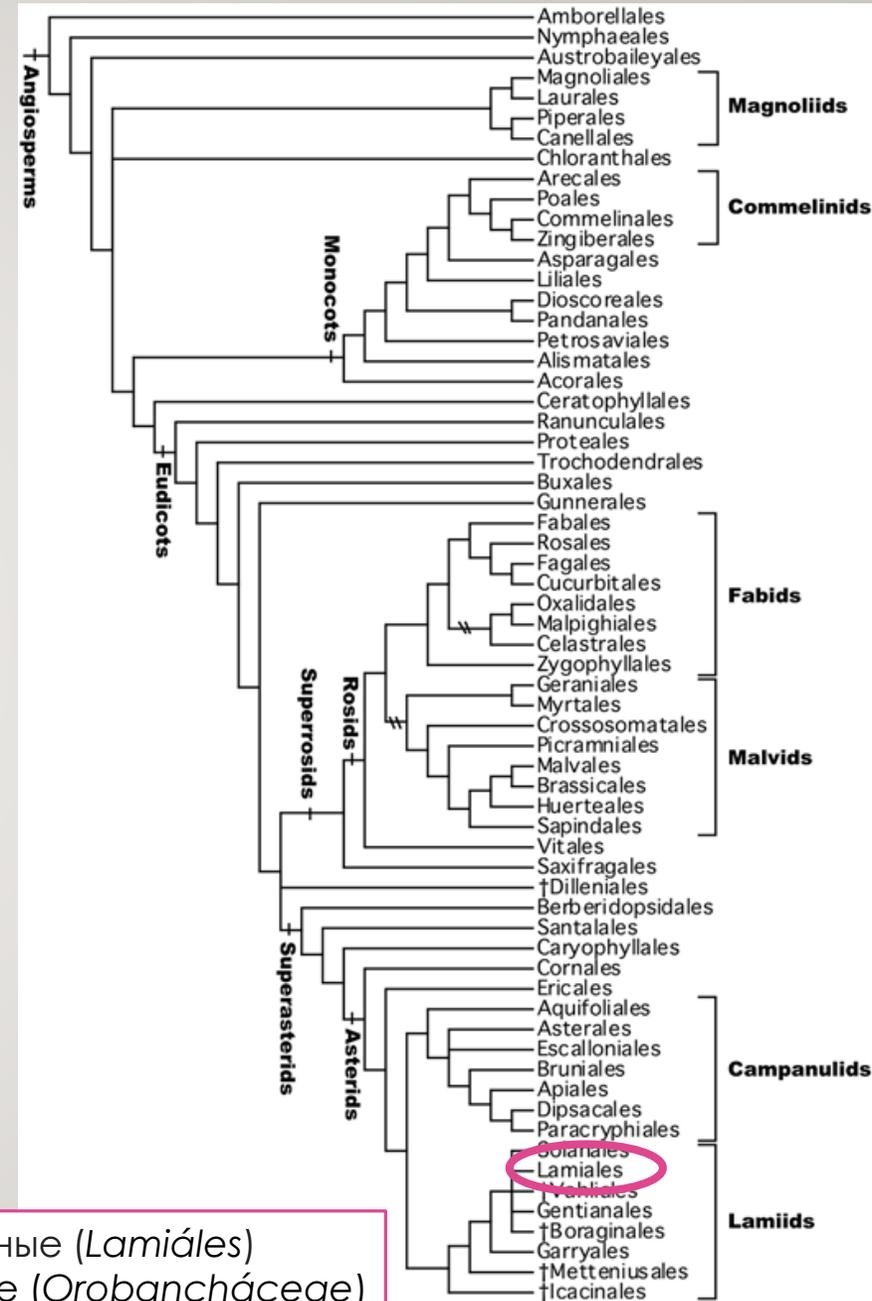
Пор. Ясноткоцветные (*Lamiáles*)  
Сем. Заразиховые (*Orobancháceae*)

Заразиха, *Orobanche* sp. – корневой голопаразит.



Виды заразихи живут на корнях разнообразных растений, преимущественно из семейства бобовые, могут паразитировать и на некоторых сложноцветных, например, на подсолнечнике (*Helianthus*).

Пор. Ясноткоцветные (*Lamiáles*)  
Сем. Заразиховые (*Orobancháceae*)



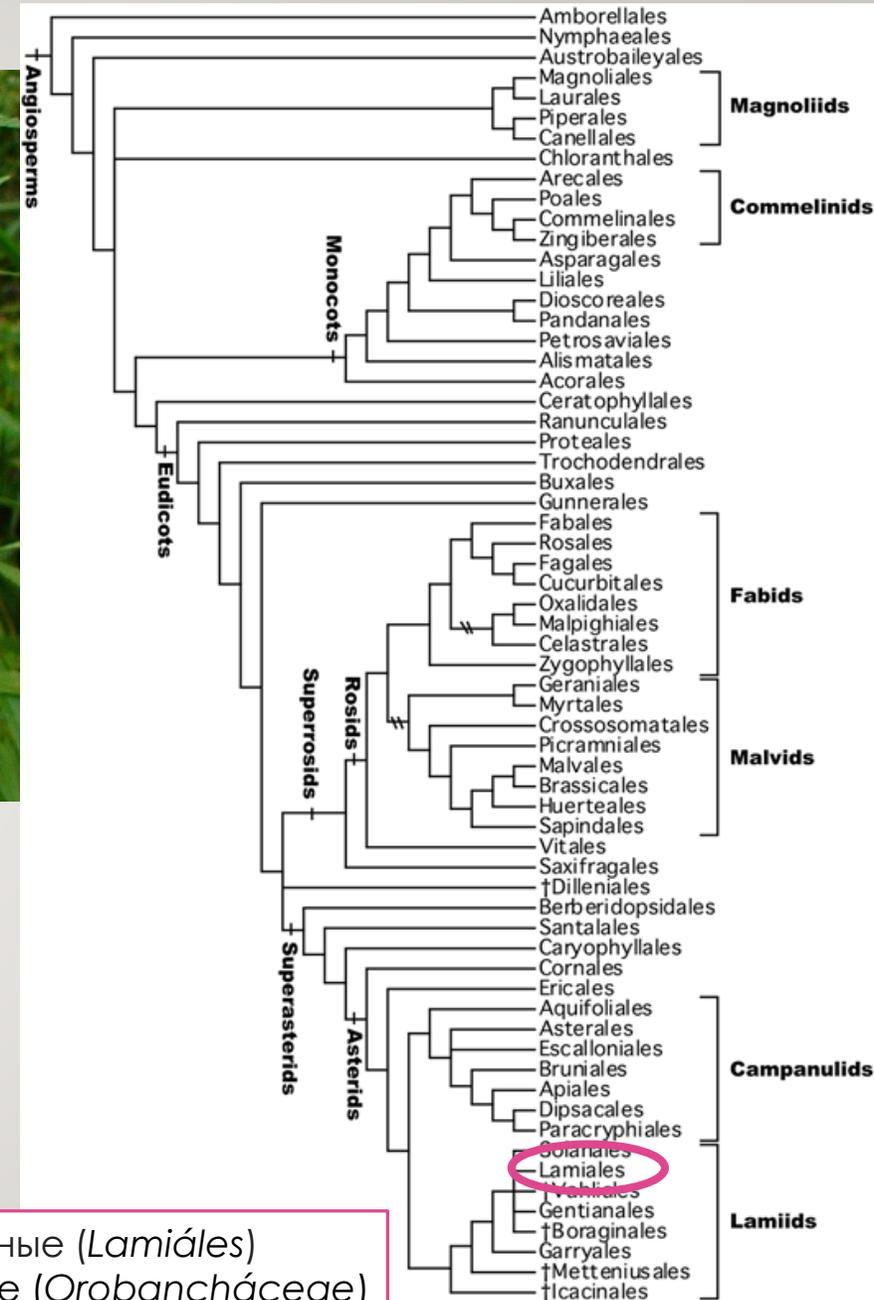
Погремок, *Rhinanthus* sp. - факультативный корневой полупаразит.

- Корни присасываются не к живым, а к отмершим корням других растений.
- Имеются фотосинтезирующие листья.



Многие виды паразитируют на травянистых формах, в том числе на пшенице, ржи, ячмене и др.

Пор. Ясноткоцветные (*Lamiáles*)  
Сем. Заразиховые (*Orobancháceae*)

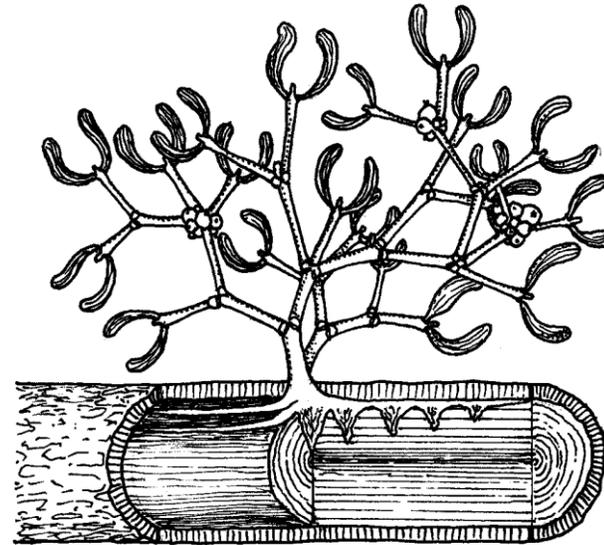


Омела, *Viscum sp.* - облигатный стеблевой полупаразит.

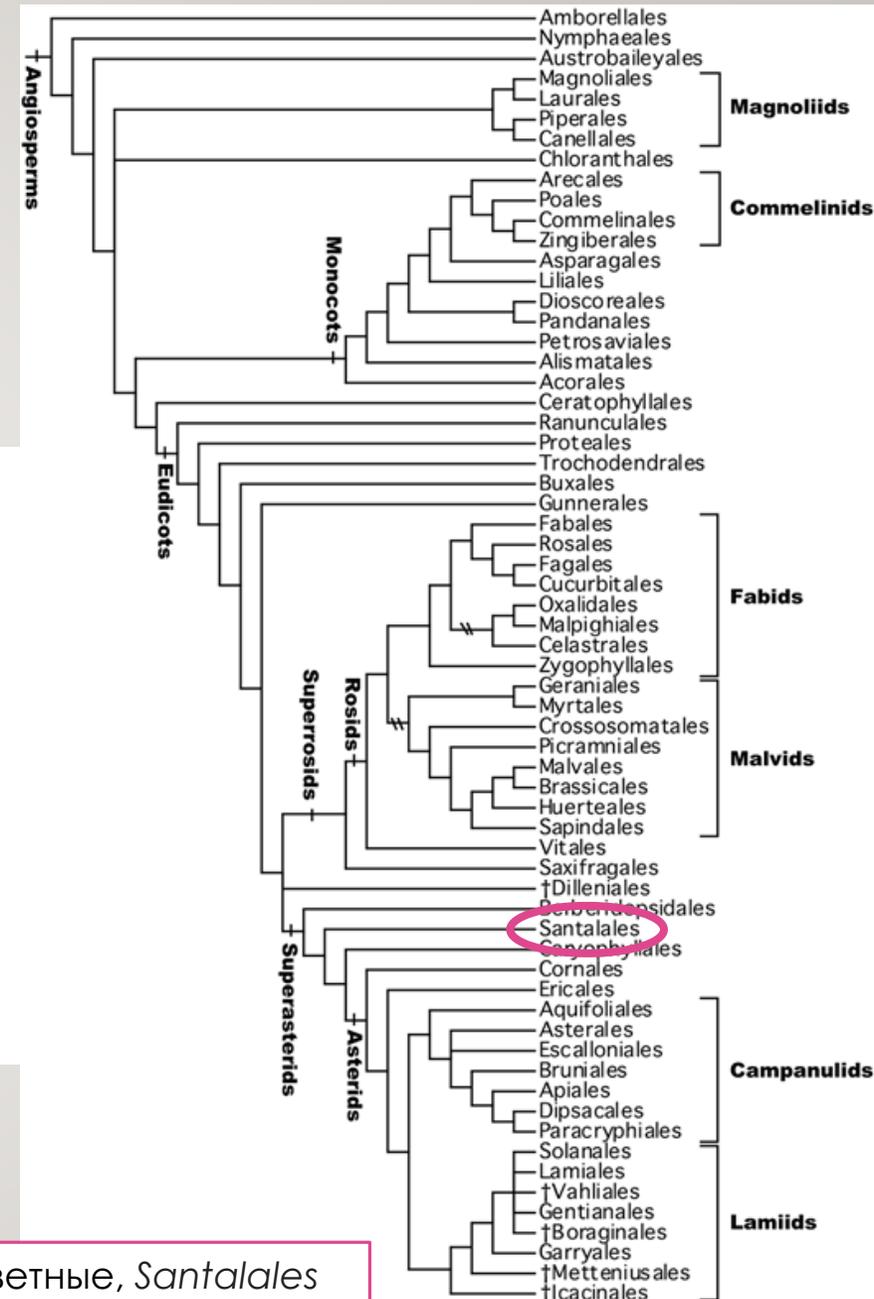


Паразитирует на очень многих древесных растениях: тополях, кленах, соснах, ивах и на разнообразных плодовых деревьях.

В распространении омелы принимают участие птицы, растение выделяет клейкое вещество – висцин, который помогает закреплению семян.



Пор. Санталовцветные, *Santales*  
Сем. Омеловые, *Viscaceae*

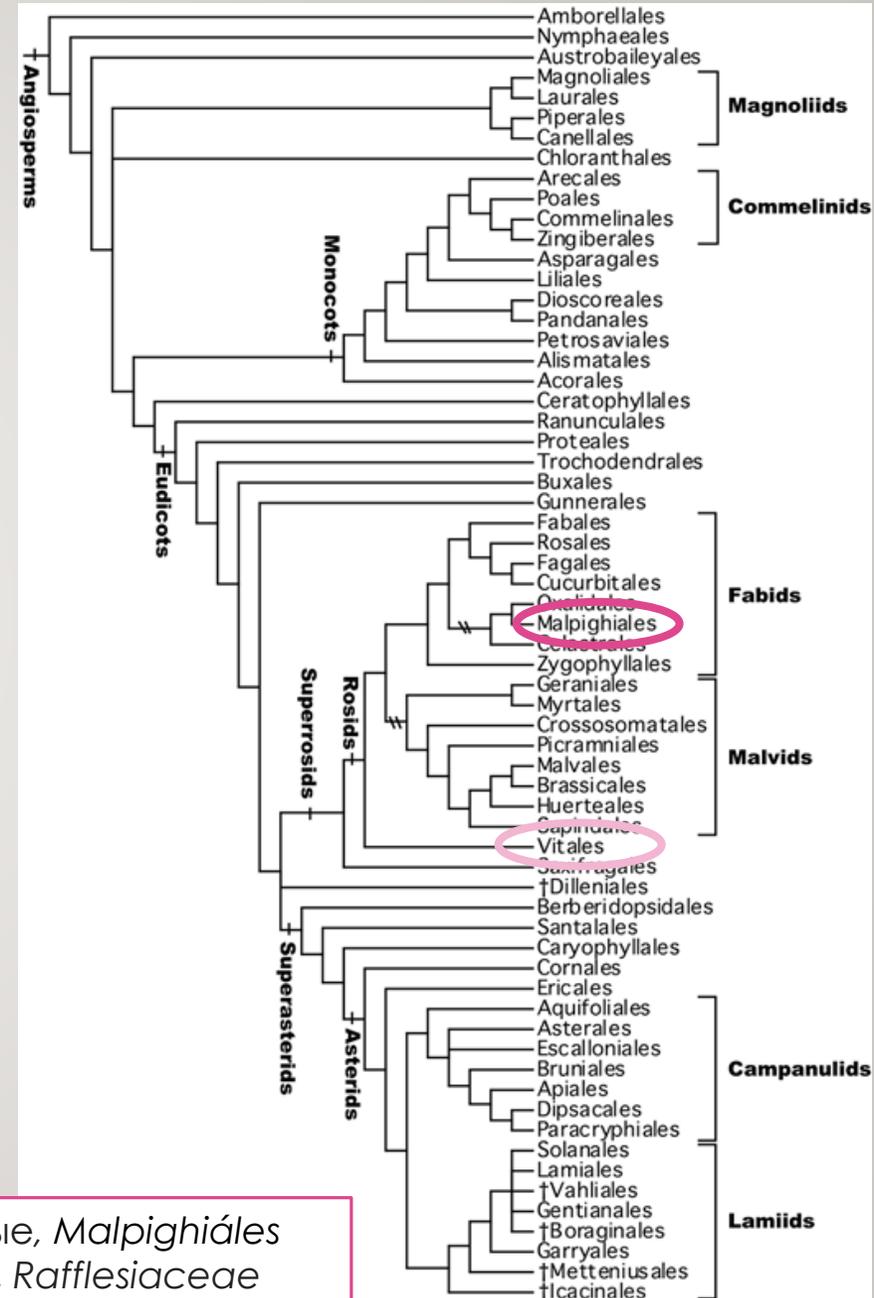


Раффлезия Арнольда, *Rafflesia arnoldii* - корневой голопаразит.



Паразитирует на растениях из рода *Tetrasigma* семейства Виноградовых (*Vitaceae*).

- Не имея стебля и листьев, а также сильно редуцируя корень, Раффлезия имеет самый большой на планете цветок: диаметр 60—100 см, а масса — до 8 кг.
- Распространение плодов может осуществляться как насекомыми (например, муравьями), так и крупными позвоночными (например, слонами).



Пор. Мальпигиецветные, *Malpighiales*  
Сем. Раффлезиевые, *Rafflesiaceae*

Паразитакус опалённый, **Parasitaxus ustus** – корневой голопаразит.



Класс: Хвойные (*Pinophyta*)  
Порядок: Сосновые (*Pinales*)  
Семейство: Подокарповые (*Podocarpaceae*)

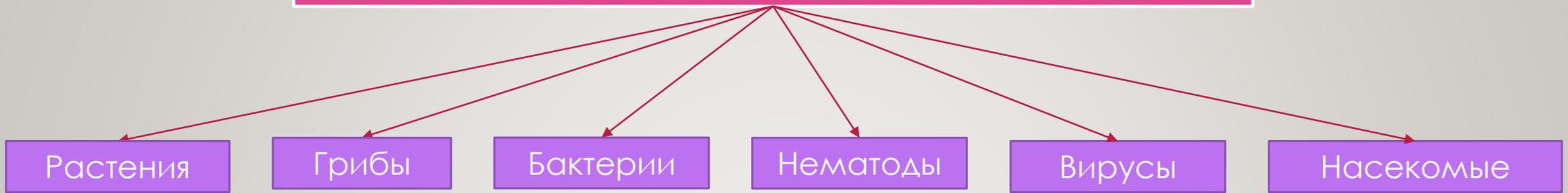


Паразитирует на стеблях и корнях другого эндемика Новой Каледонии – фалькатифолиума тиссолистного (*Falcatifolium taxoides*)

Класс: Хвойные (*Pinophyta*)  
Порядок: Сосновые (*Pinales*)  
Семейство: Подокарповые (*Podocarpaceae*)

# Паразитизм на растениях

Кто может являться паразитом растения?



Зачастую для проникновения паразита в растение необходимо, чтобы часть растения была заранее повреждена. К тому же при заражении важную роль играют факторы внешней среды.

Иначе единственный способ проникнуть - через эпидерму, а точнее через устьичную щель.



# Паразитические грибы - оомицеты

Фитофтора, *Phytophthora sp.*



Фитофтороз  
томатов



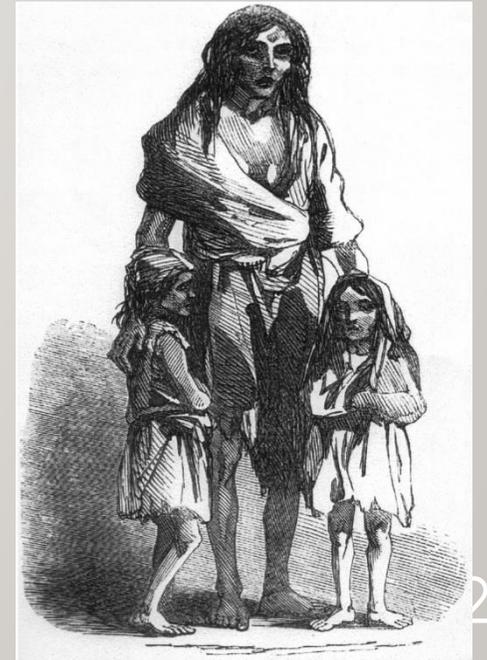
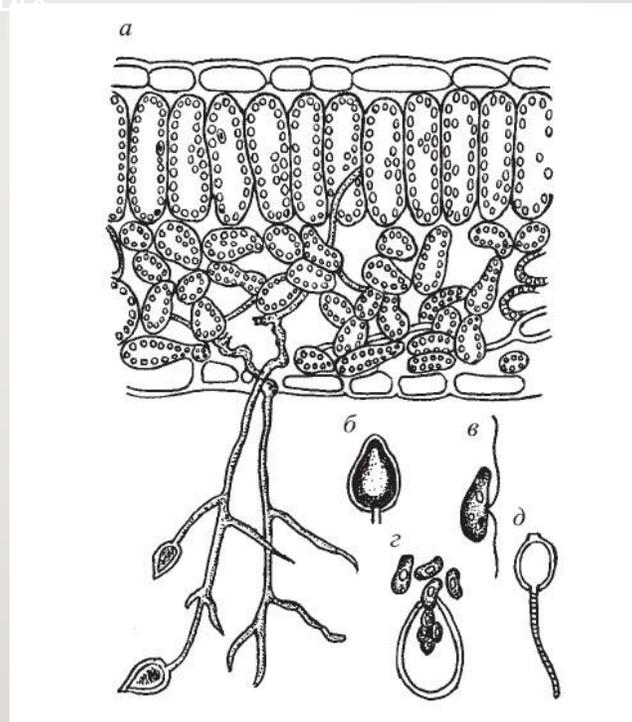
Пораженный клубень картофеля

Патоген поражает растения в основном семейства паслёновых (*Solanaceae*)

Описано около 100 видов, однако, предположительно, есть столько же еще не известных

Отдел: Оомикота (*Oomycota*)  
Класс: Оомицеты (*Oomycetes*)  
Порядок: Пероноспоровые (*Peronosporales*)

Великий Ирландский голод (1845—1849). Гравюра, изображающая Бриджит О'Доннел, изгнанную с детьми из дома за неуплату арендной платы.



# Паразитические грибы - оомицеты

Плазмодара Виноградная, *Plasmopara viticola*



Отдел: Оомикота (*Oomycota*)  
Класс: Оомицеты (*Oomycetes*)  
Порядок: Пероноспоровые  
(*Peronosporales*)

Вызывает заболевание виноградной лозы, известное как мильдю.

# Паразитические протисты - церкозои

Плазмодиофора (*Plasmodiophora brassicae*)

Отдел (тип): Cercozoa

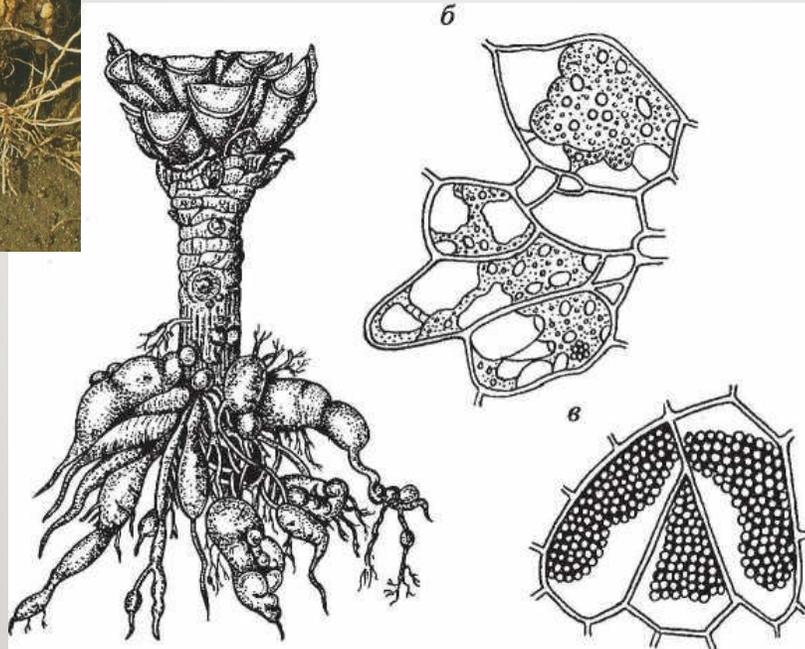
Класс: Phytomyxea

Порядок (отряд): Plasmodiophorida



Кила капусты

Является паразитом крестоцветных, в том числе капусты огородной (*Brássica olerácea*).



На корнях пораженного растения образуются наросты и вздутия, постепенно развивающиеся в очень крупные опухоли самой разнообразной формы. Такие корни почти не ветвятся и мало всасывают воды. У более взрослых растений листья становятся вялыми, желтоватыми, кочаны недоразвиваются или совсем не образуются.

# Паразитические протисты - церкозои

Спонгоспора, *Spongospora* sp.



Картофель, пораженный паршой порошистой

Отдел (тип): Cercozoa  
Класс: Phytomyxea  
Порядок (отряд): Plasmodiophorida

Возбудитель порошистой парши инфицирует корни, столоны и клубни картофеля через чечевички, глазки и раневые участки. На корнях растений появляются галлы — наросты неправильной формы белого цвета, которые впоследствии коричневеют, а на поверхности клубней образуются светлые пустулы в виде бородавок

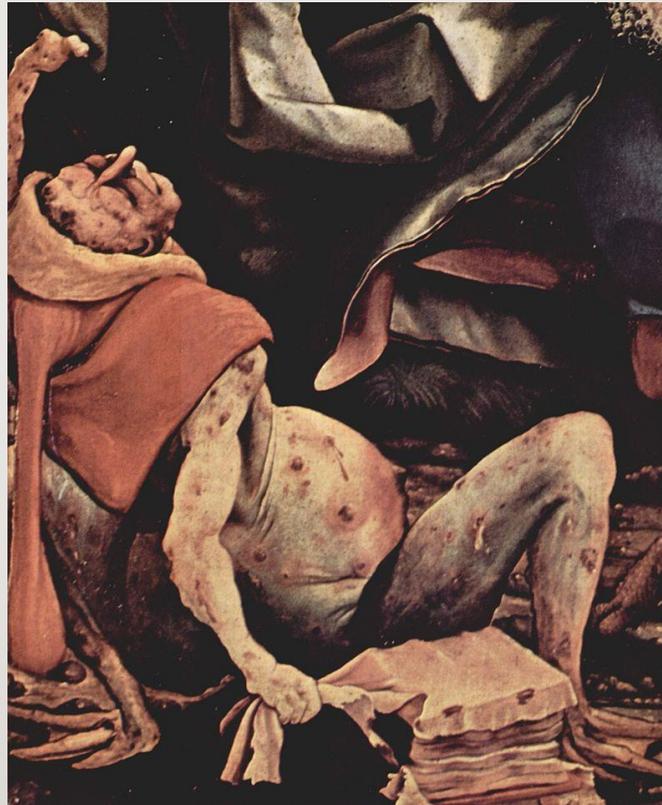
# Паразитические грибы - аскомицеты

Спорынья, *Claviceps sp.*



Спорынья на ржи (*Secale cereale*)

Паразит некоторых злаков (Poaceae)



При употреблении хлеба из зерен, полученных из зараженной ржи, развивается болезнь «Антониевский огонь» (эрготизм). Судороги и спазмы гладкой мускулатуры вызваны эргоалкалоидами, вырабатываемыми склероциями спорыньи.

Отдел: Аскомицеты  
(Ascomycota)

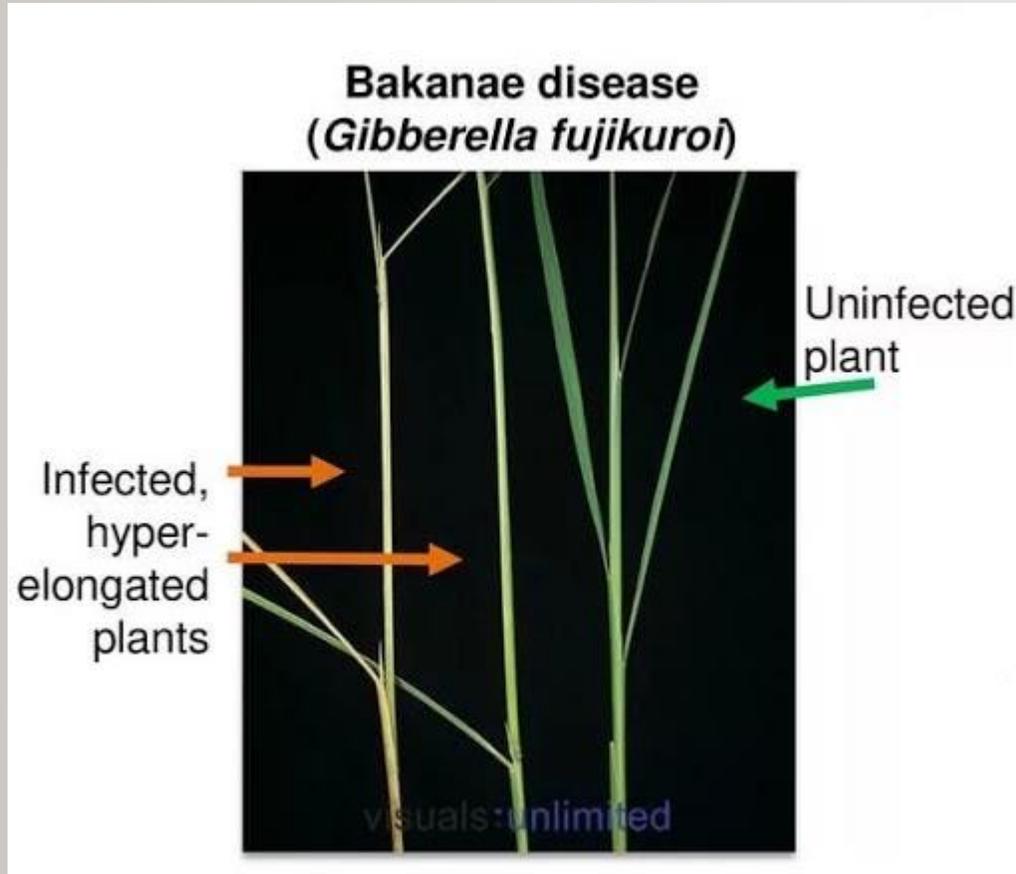
Класс: Сорадиомицеты  
(Sordariomycetes)

Порядок: Гипокрейные  
(Hypocreales)

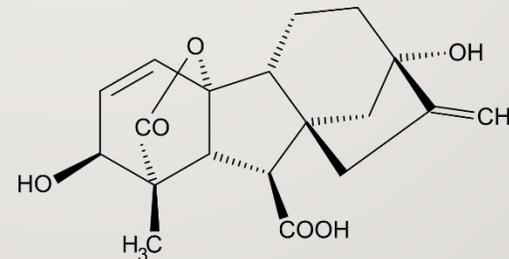
# Паразитические грибы - аскомицеты

*Fusarium moniliforme* (ранее *Gibberella fujikuroi*)

Отдел: Ascomycota  
Класс: Sordariomycetes  
Порядок: Hypocreales  
*Fusarium* sp.



В Японии наблюдалось заболевание «бешеный рис» (баканоз). Стебель риса сильно удлинялся, потом желтел, сгибался и полегал, не успевая дать урожай.  
В 1926 Эйичи Куросава выделил возбудителя этого заболевания.



Гибберелловая  
КИСЛОТА

Гиббериллины –  
одни из важнейших  
фитогормонов.

# Паразитические грибы - аскомицеты

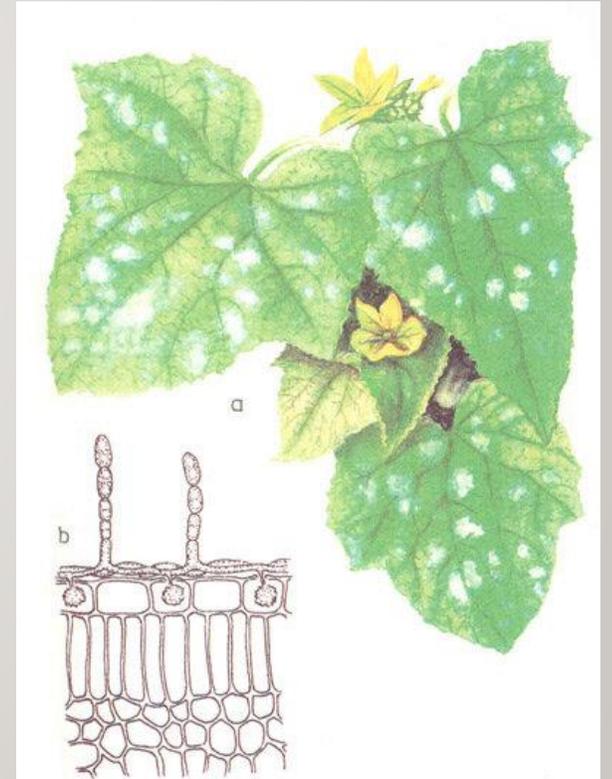


Мучнистая роса (*Uncinula necator*) на плодах винограда



Мучнистая роса (*Podosphaera pannosa*) на стебле розы

Отдел: Аскомицеты  
(Ascomycota)  
Класс: Леоициомицеты  
(Leotiomycetes)  
Порядок: Эризифовые  
(Erysiphales)



*Erysiphe cichoracearum* на огурце

# Паразитические грибы - базидиомицеты

Головнёвые грибы (*Ustilaginales*)

Отдел: Базидиомицеты  
(*Basidiomycota*)  
Класс: *Ustilaginomycetes*  
Порядок: *Ustilaginales*



Пузырчатая головня *Ustilago zeae*  
кукурузы



Головня пшеницы *Ustilago tritica*

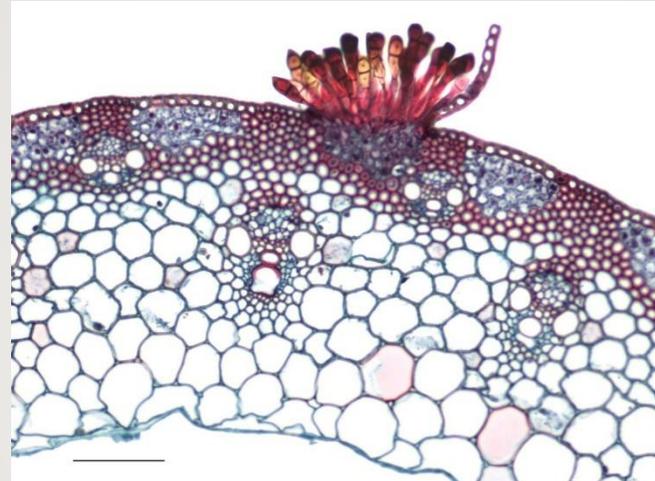
Содержат ядовитые  
алкалоиды, в том числе -  
устилагин.

# Паразитические грибы - базидиомицеты

Ржавчинные грибы (*Pucciniales*)



Бурая ржавчина пшеницы (*Puccinia triticina*)



Отдел: Базидиомицеты  
(*Basidiomycota*)  
Класс: *Pucciniomycetes*  
Порядок: *Pucciniales*

Стеблевая ржавчина на промежуточном хозяине – барбарисе (*Berberis* sp.)

Стеблевая ржавчина пшеницы  
(*Puccinia graminis*)



# Паразитические грибы - базидиомицеты

Трутовики (не систематическая группа)

Отдел: Базидиомицеты  
(Basidiomycota)  
Класс: Агарикомицеты  
(Agaricomycetes)



Трутовик настоящий, *Fomes fomentarius*



Трутовик ложный, *Phellinus igniarius*



Трутовик окаймленный, *Fomitopsis pinicola*

# Паразитические бактерии

*Pseudomonas syringae*

*Erwinia amylovora*

*Ralstonia solanacearum*

*Clavibacter michiganensis*



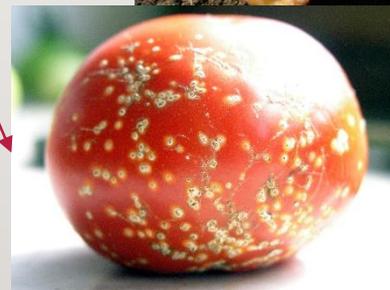
Бактериальный ожог сои



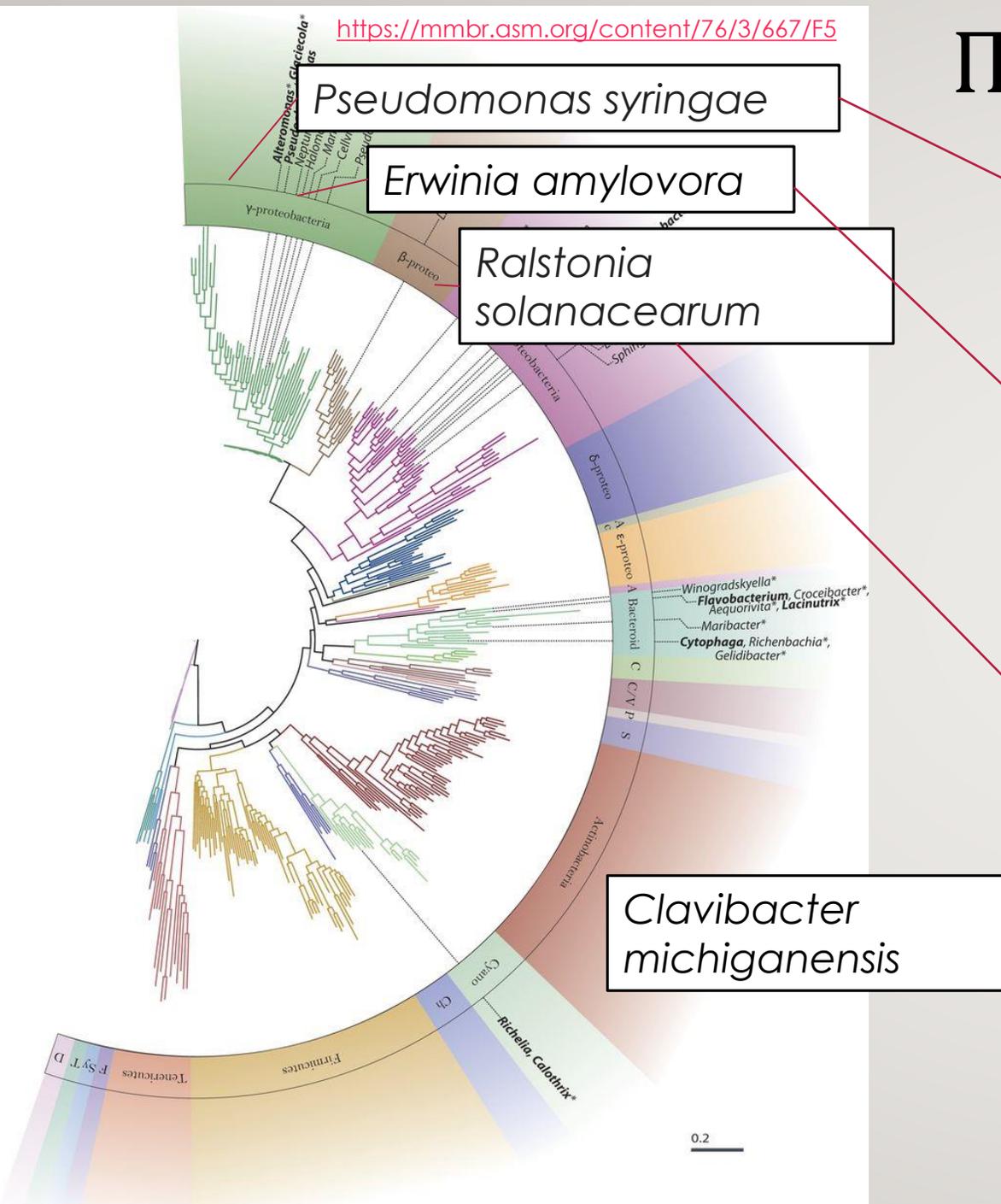
Бактериальный ожог яблони



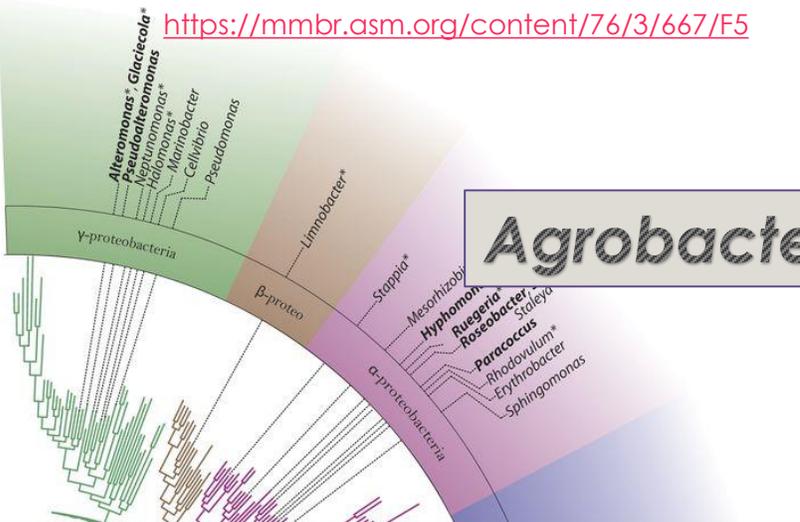
Бурая гниль картофеля



Бактериальный рак томата



<https://mibr.asm.org/content/76/3/667/F5>



## Agrobacterium tumefaciens



Корончатые галлы, вызванные *Agrobacterium tumefaciens*



1. Повреждения клетки растения и выделение фенольных веществ (ацетосирингон).

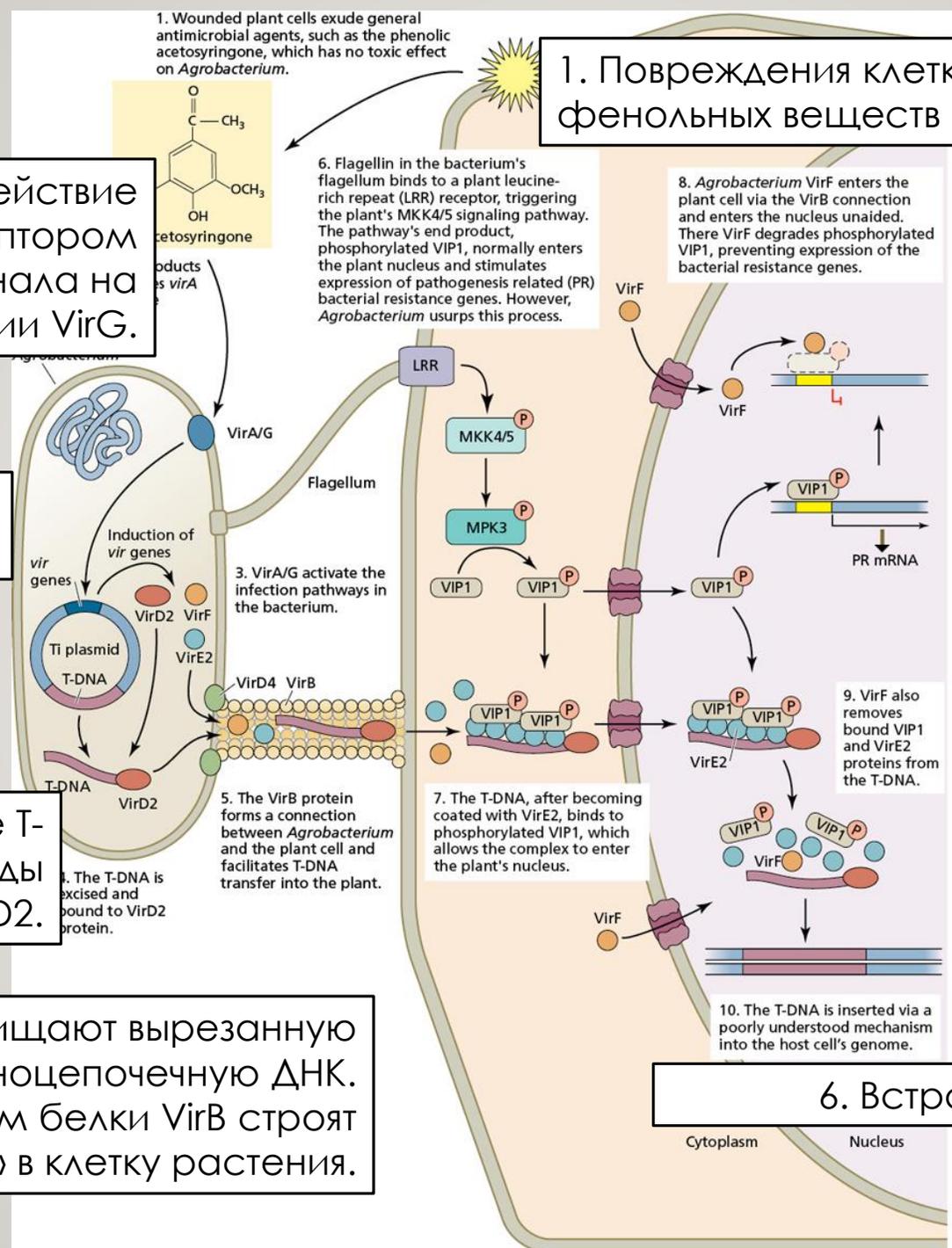
2. Взаимодействие ацетосирингона с рецептором VirA и передача сигнала на фактор транскрипции VirG.

3. Активация Vir-области Ti-плазмиды.

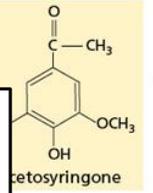
4. Узнавание и вырезание T-области Ti-плазмиды белками VirD1 и VirD2.

5. Белки VirE2 защищают вырезанную одноцепочечную ДНК. Тем временем белки VirB строят «мостик» в клетку растения.

6. Встраивание T-ДНК в геном растения.



1. Wounded plant cells exude general antimicrobial agents, such as the phenolic acetosyringone, which has no toxic effect on *Agrobacterium*.



6. Flagellin in the bacterium's flagellum binds to a plant leucine-rich repeat (LRR) receptor, triggering the plant's MKK4/5 signaling pathway. The pathway's end product, phosphorylated VIP1, normally enters the plant nucleus and stimulates expression of pathogenesis related (PR) bacterial resistance genes. However, *Agrobacterium* usurps this process.

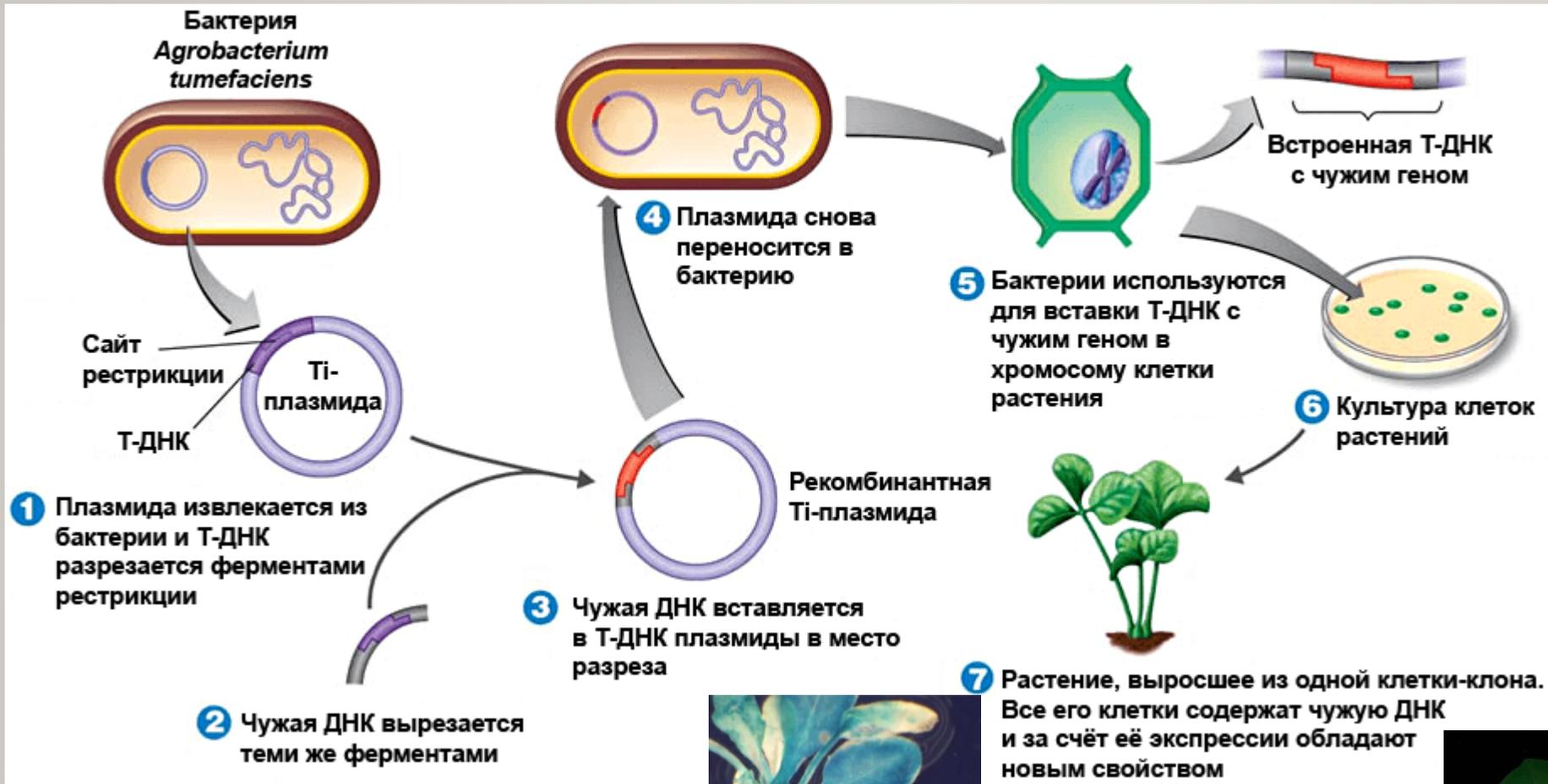
8. *Agrobacterium* VirF enters the plant cell via the VirB connection and enters the nucleus unaided. There VirF degrades phosphorylated VIP1, preventing expression of the bacterial resistance genes.

9. VirF also removes VIP1 and VirE2 proteins from the T-DNA.

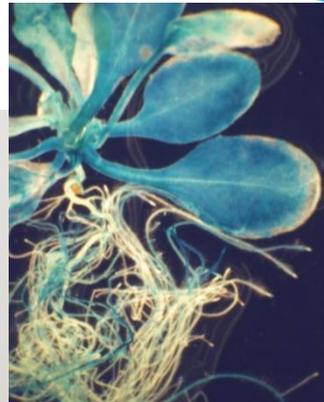
7. The T-DNA, after becoming coated with VirE2, binds to phosphorylated VIP1, which allows the complex to enter the plant's nucleus.

10. The T-DNA is inserted via a poorly understood mechanism into the host cell's genome.

# Трансформация растений



Глюкуронидаза (GUS)



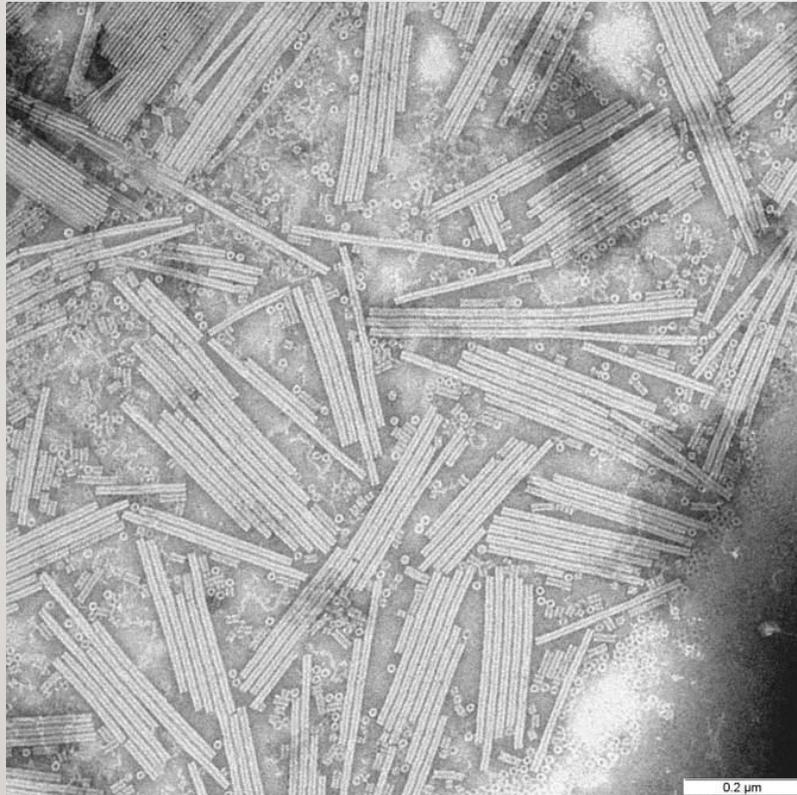
Флуоресцентный белок (GFP)



# Вирусы растений



1892 г. – Дмитрий Иосифович Ивановский сделал предположение о вирусной природе заболевания табака (*Nicotiana*).  
В 1898 г. его предположение подтвердил голландский микробиолог Мартин Бейеринк, первооткрыватель симбиотических азотфиксаторов, свободноживущих аэробных азотфиксаторов рода *Azotobacter*.



ВТМ (*Tobacco mosaic virus, TMV*) под электронным микроскопом



Листья табака, пораженные ВТМ

# Вирусы растений



Вирус обыкновенной мозаики  
огурца  
*Cucumber mosaic virus (CMV)*



Вирус мозаичности  
тюльпана,  
*Tulip breaking virus*



Вирус скручивания  
листьев картофеля,  
*Potato leafroll luteovirus*

# Паразитические нематоды растений



Листовая рисовая нематода *Aphelenchoides besseyi*



Галловые нематоды, *Meloidogyne* sp.

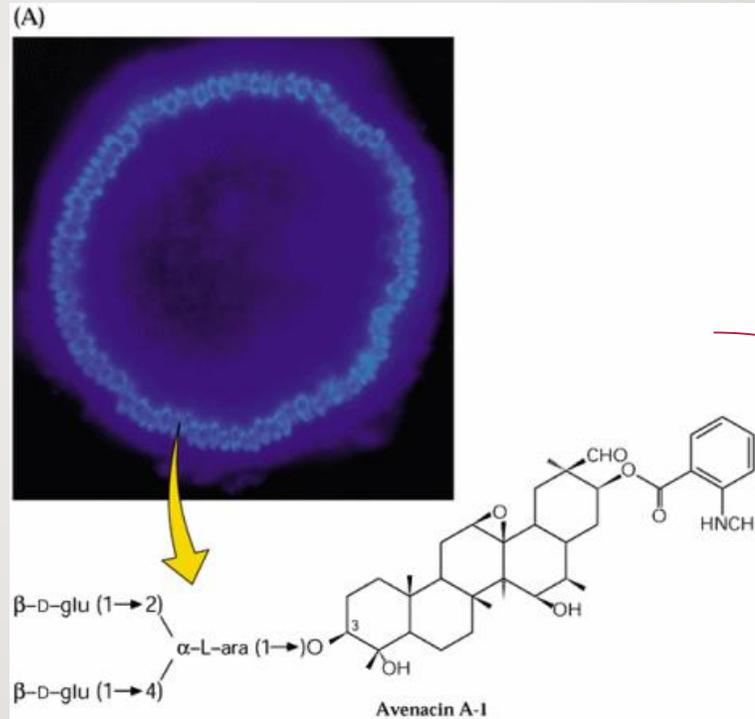
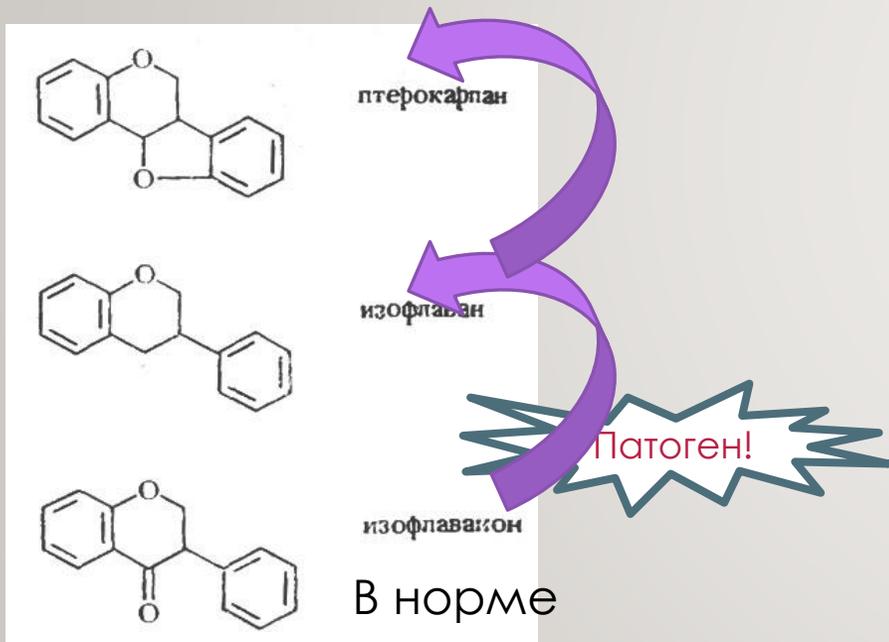


Стеблевая нематода (*Ditylenchus dipsaci*), поражающая лук

# Растения защищаются!

1. Конститутивные защитные вещества. Не специфичны.
2. Полуиндуцибельные.
3. Индуцибельные (фитоалексины). Характерны для вида или семейства. Специфичны к элиситорам отдельных патогенов.

У бобовых:



**Авенацины** синтезируются и накапливаются в активной форме в корнях овса.

Устойчивость овса к корневой гнили

А пшеницы и ячмень восприимчивы к гнили!

**Благодарю за внимание  
И желаю Успехов!**

Анна Игоревна Вишневская  
ai.vish@yandex.ru  
<https://vk.com/aivish>

