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 is overlaid on the right side of the image, containing white text.

# 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, *Myríca* sp. (сем. *Myricácea*)
- И другие

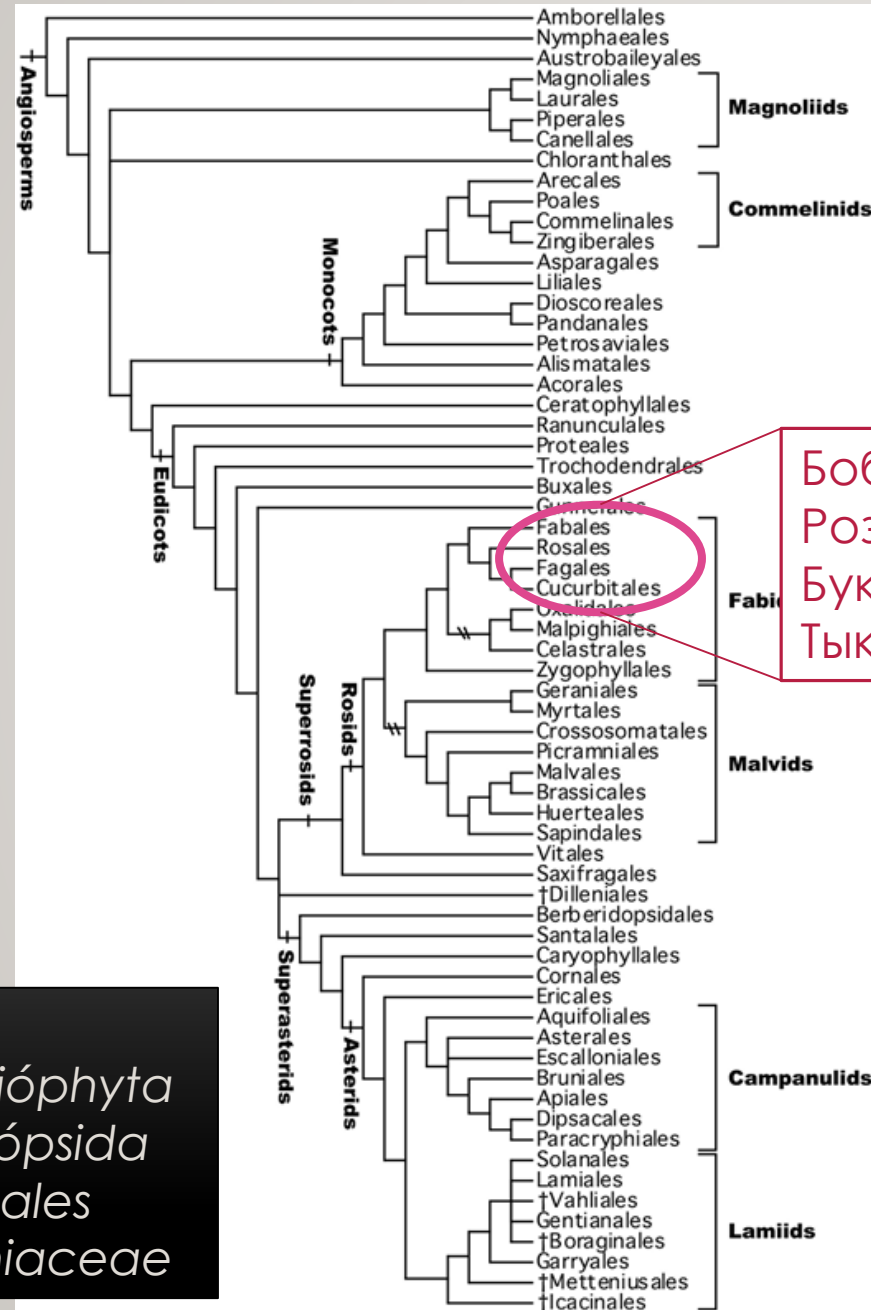
**Nostoc**

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



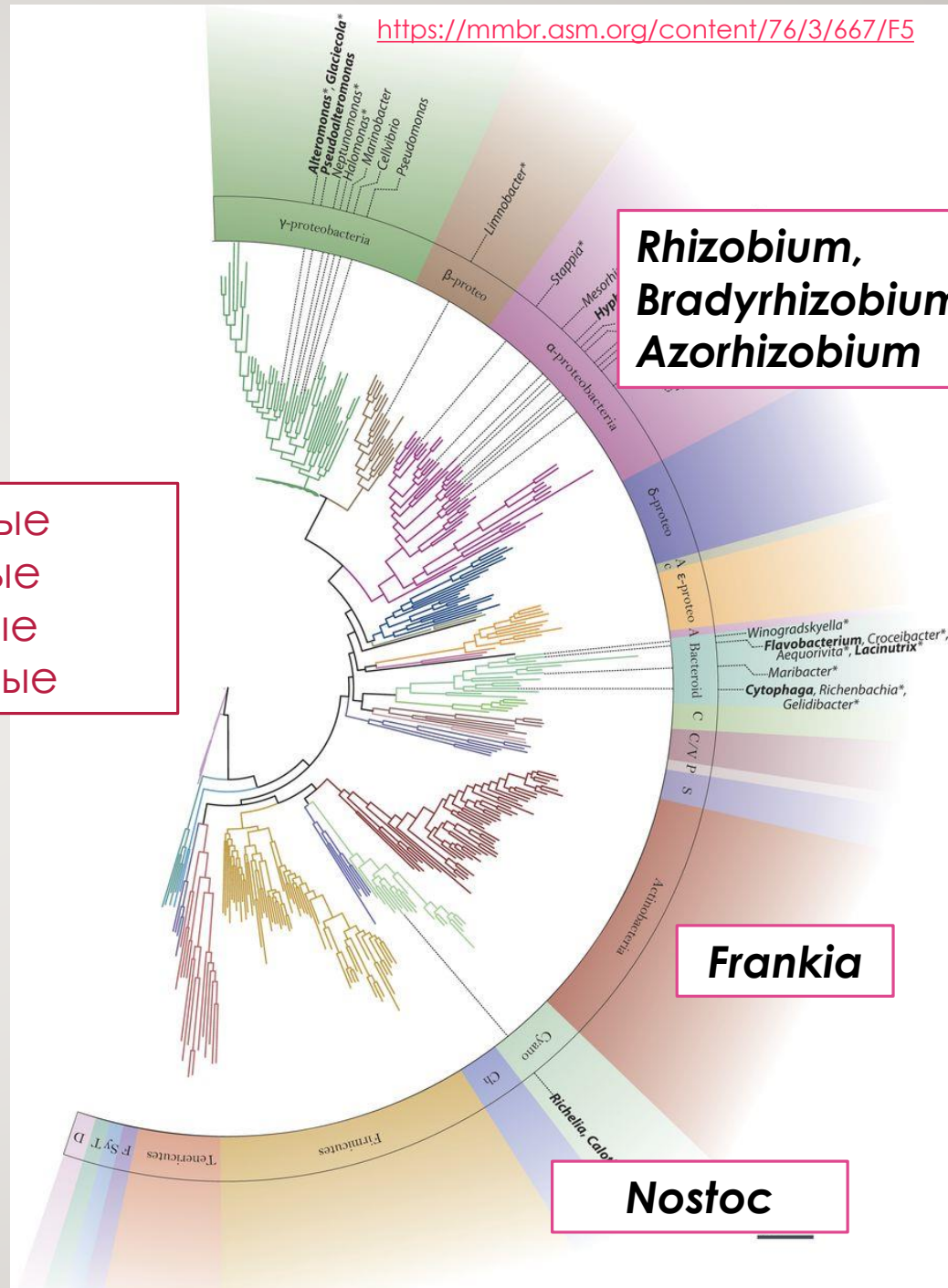
Агеотропные корни

# Кто эти организмы друг другу?



Бобоцветные  
Розоцветные  
Букоцветные  
Тыквоцветные

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



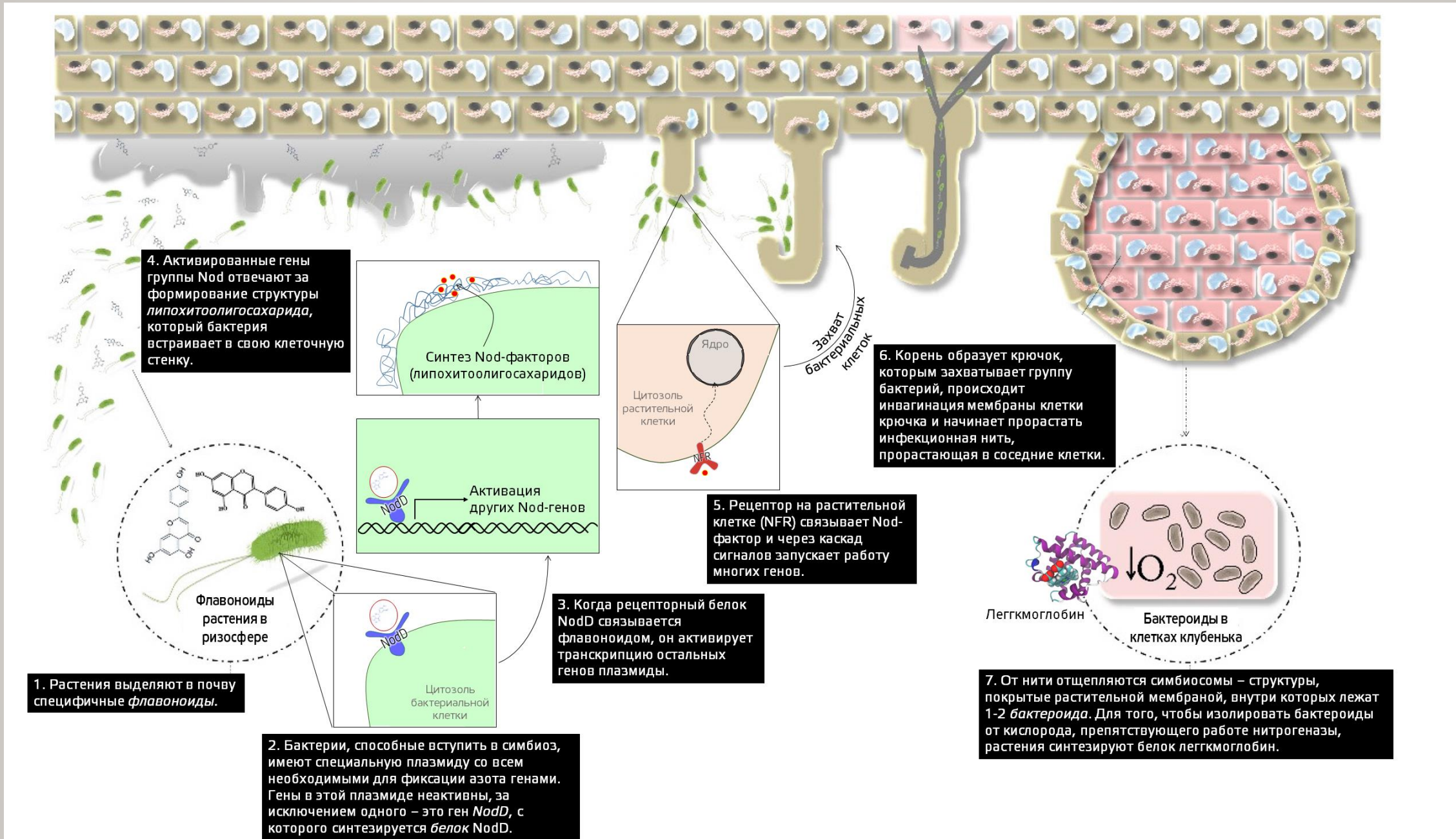
Rhizobium,  
Bradyrhizobium,  
Azorhizobium

Frankia

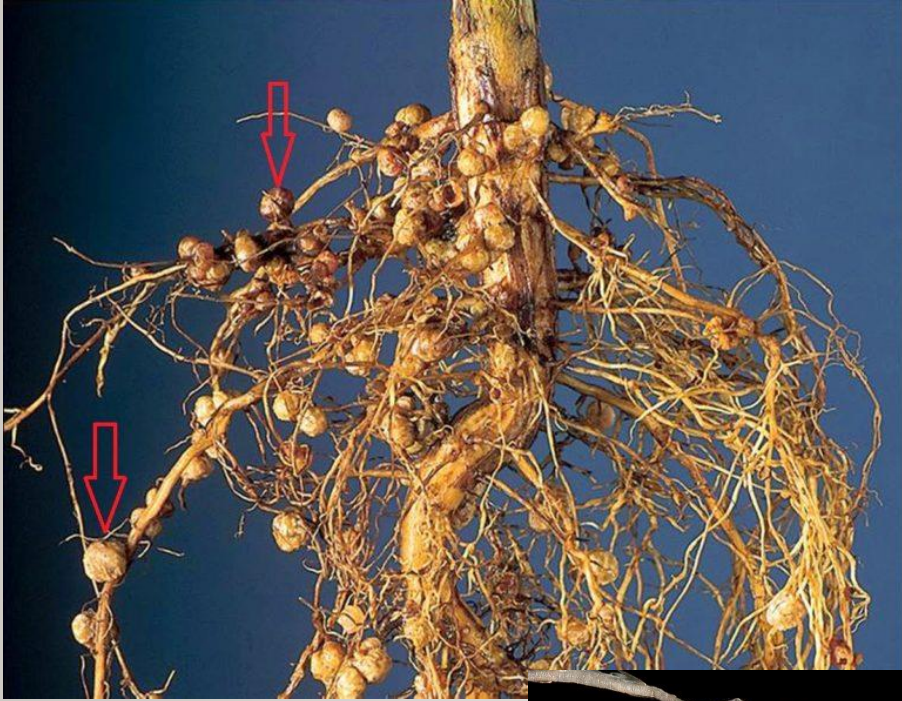
Nostoc

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

# 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
- Монотропидная 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*).

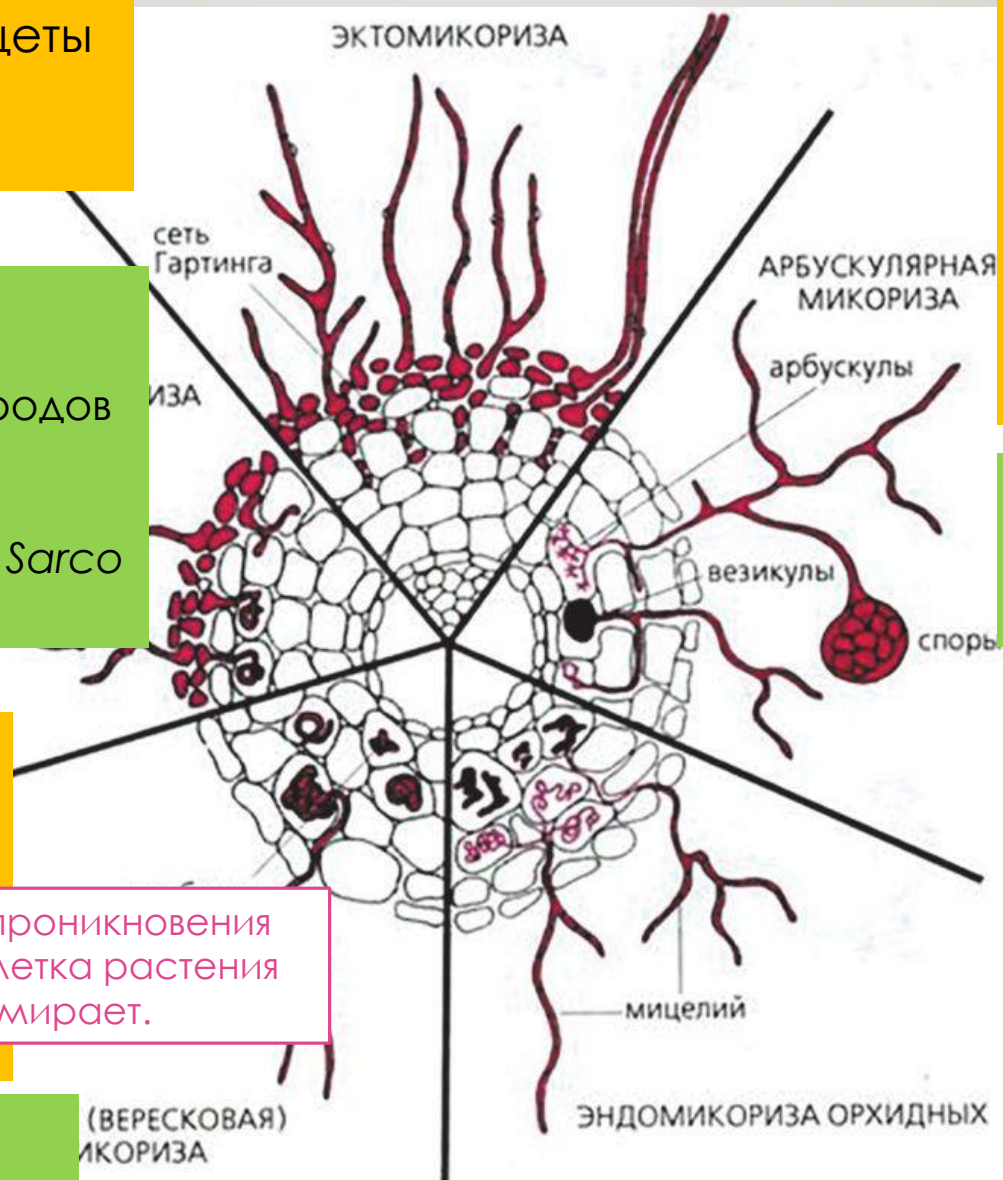
Арбутоидная: Растения семейства  
вересковые (*Ericaceae*) из родов  
*Arbutus, Arctostaphylos*, нескольких родов  
трибы *Pyroleae*.

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

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

Растения порядка  
верескоцветные (*Ericales*).

После проникновения  
гриба клетка растения  
умирает.



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.

# Чехольчатая микориза

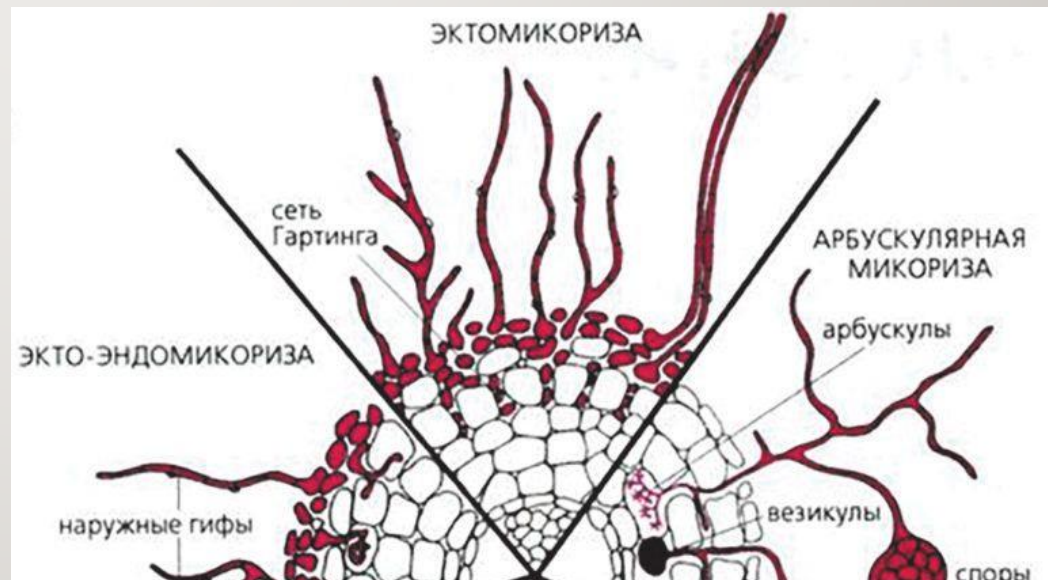
Главным образом, доминирующие виды деревьев лесов умеренного пояса из *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Leguminosae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*.

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

Шляпочные базидиомицеты пор. *Agaricales*.



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



# Эндомикориза орхидных

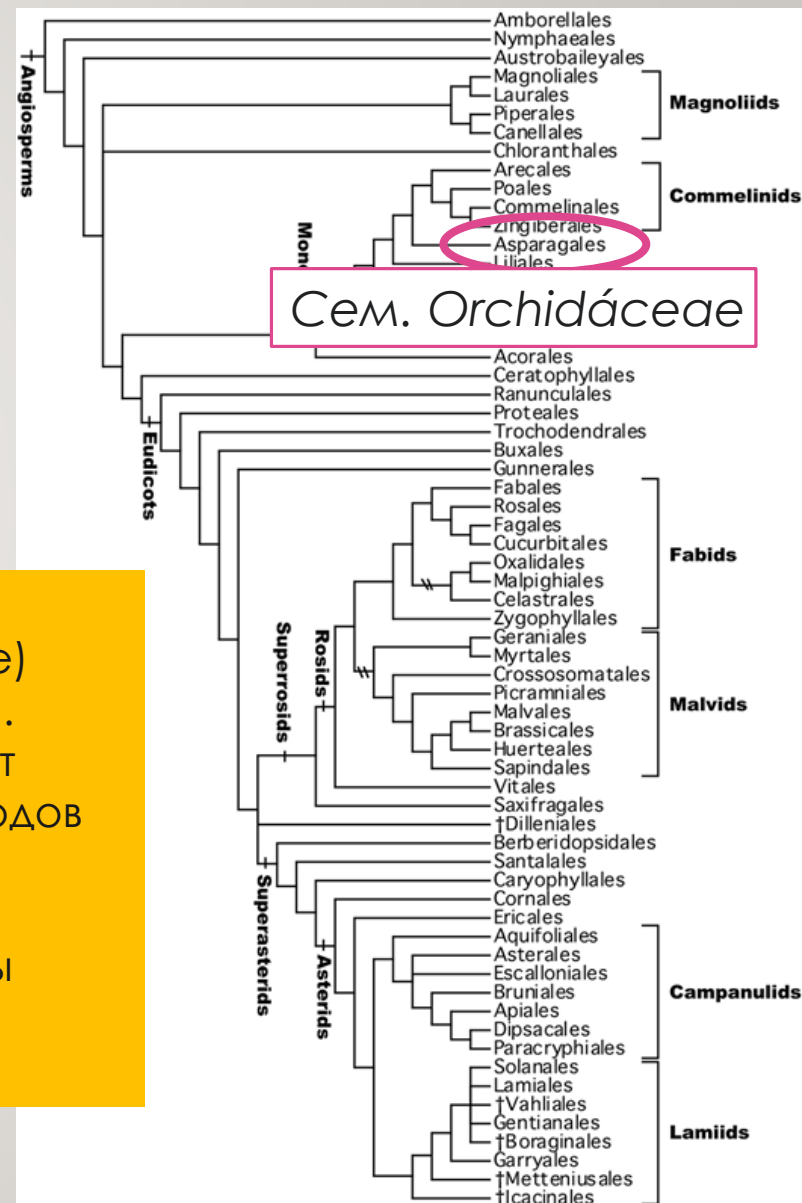


В семени всего несколько клеток эндосперма и предзародыш.

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 (*Epiphycium arhyllum*)  
Сем. *Orchidaceae*



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.

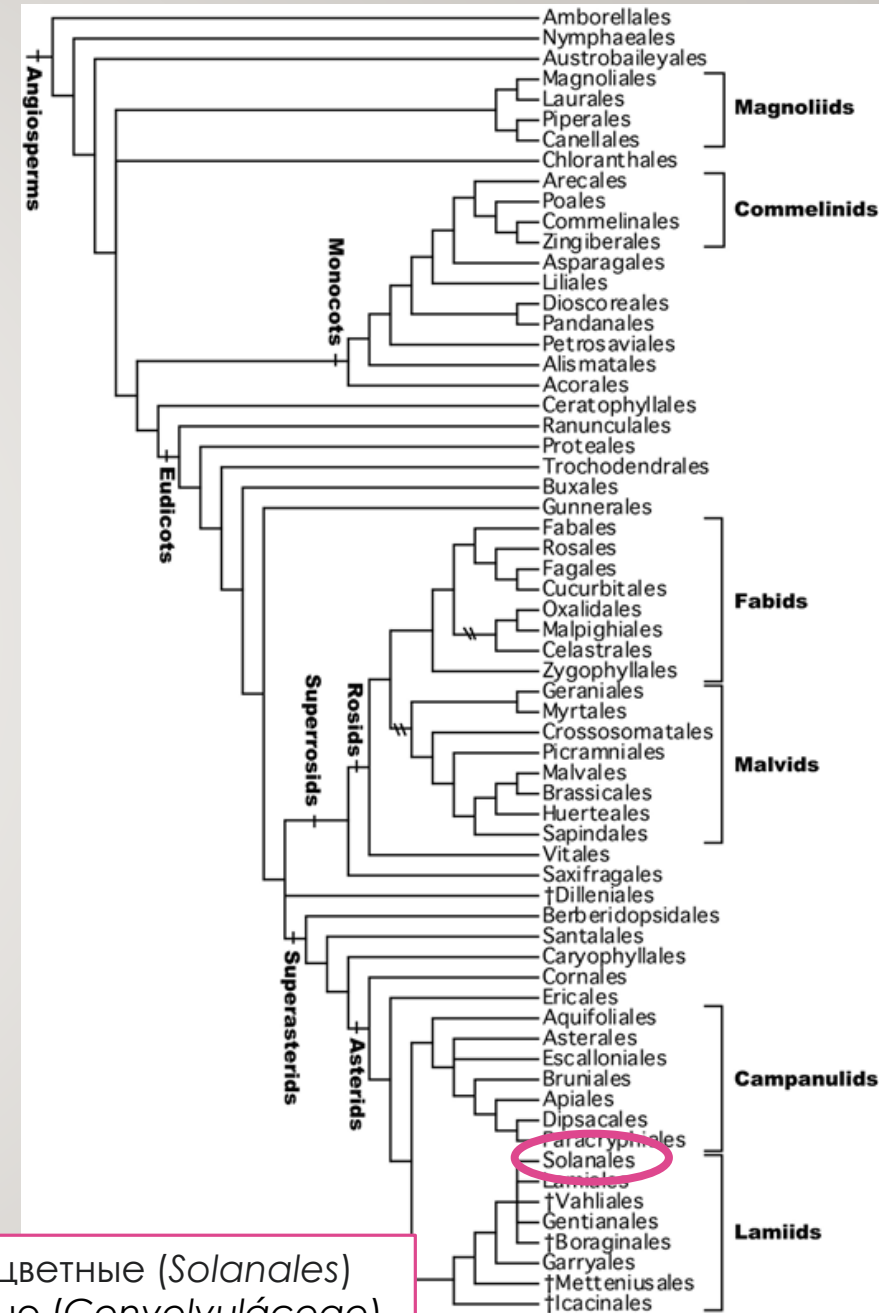
и часть органических веществ.

*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.



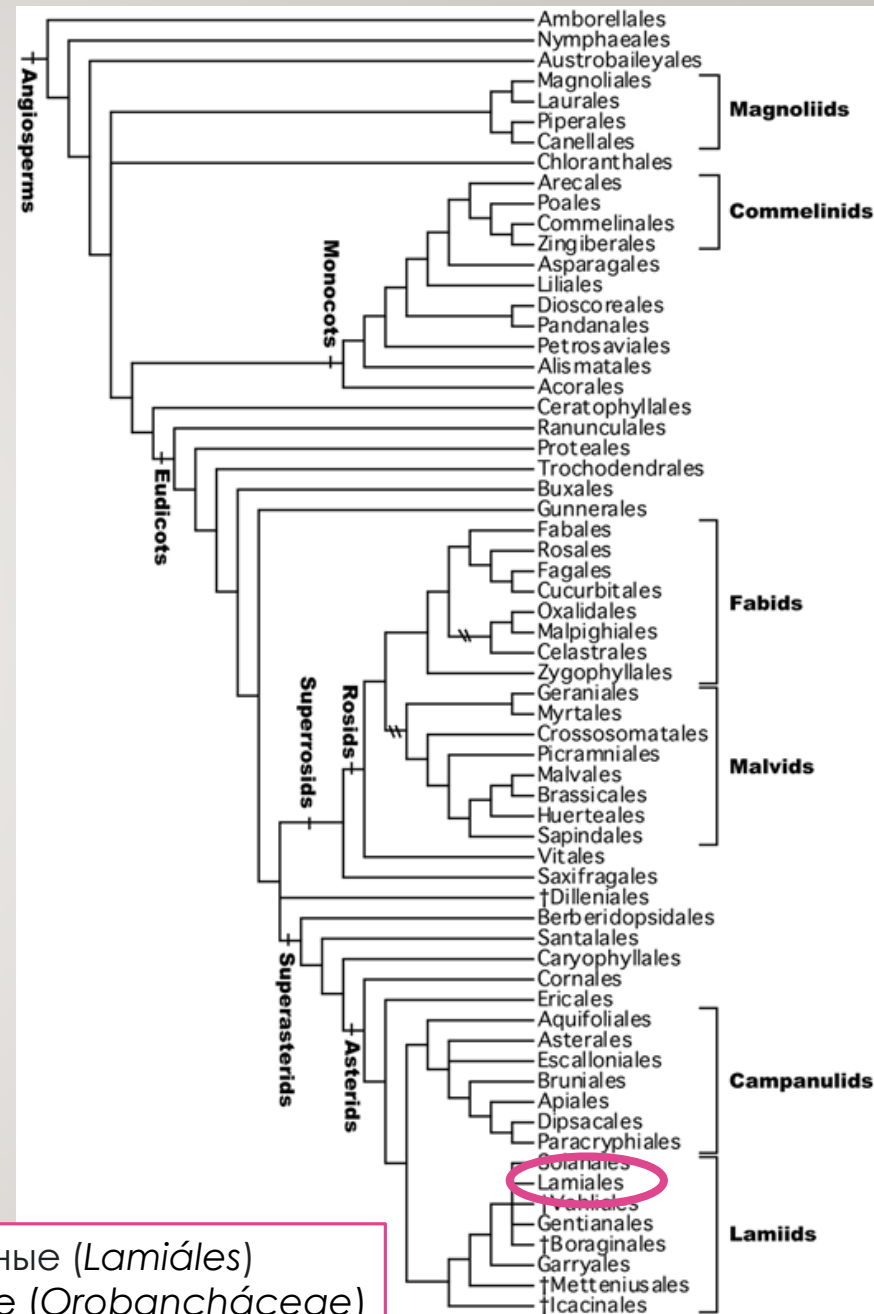
Пор. Паслёноцветные (*Solanales*)  
Сем. Вьюнковые (*Convolvulácea*)

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*)

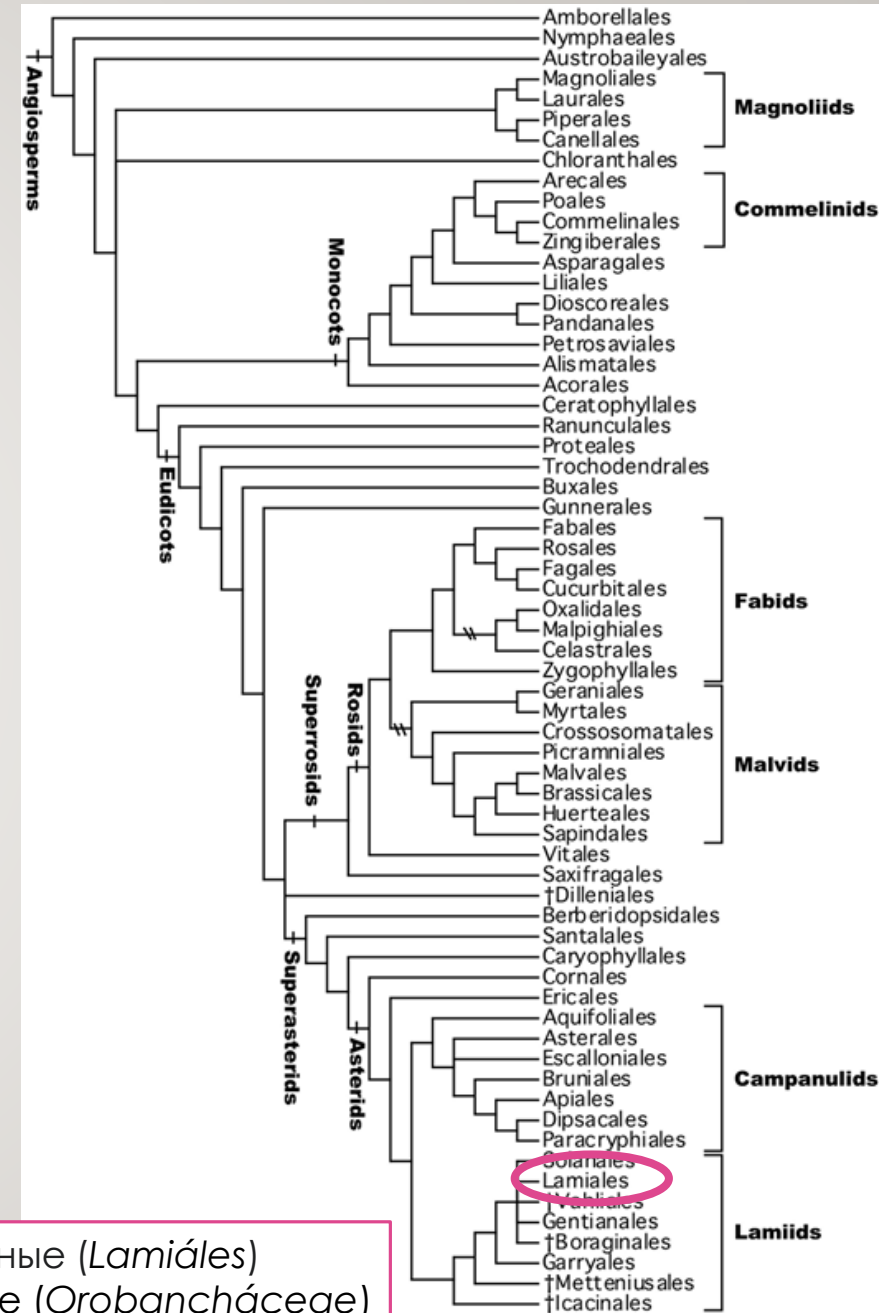


Заразиха, *Orobanche* sp. – корневой голопаразит.



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*)



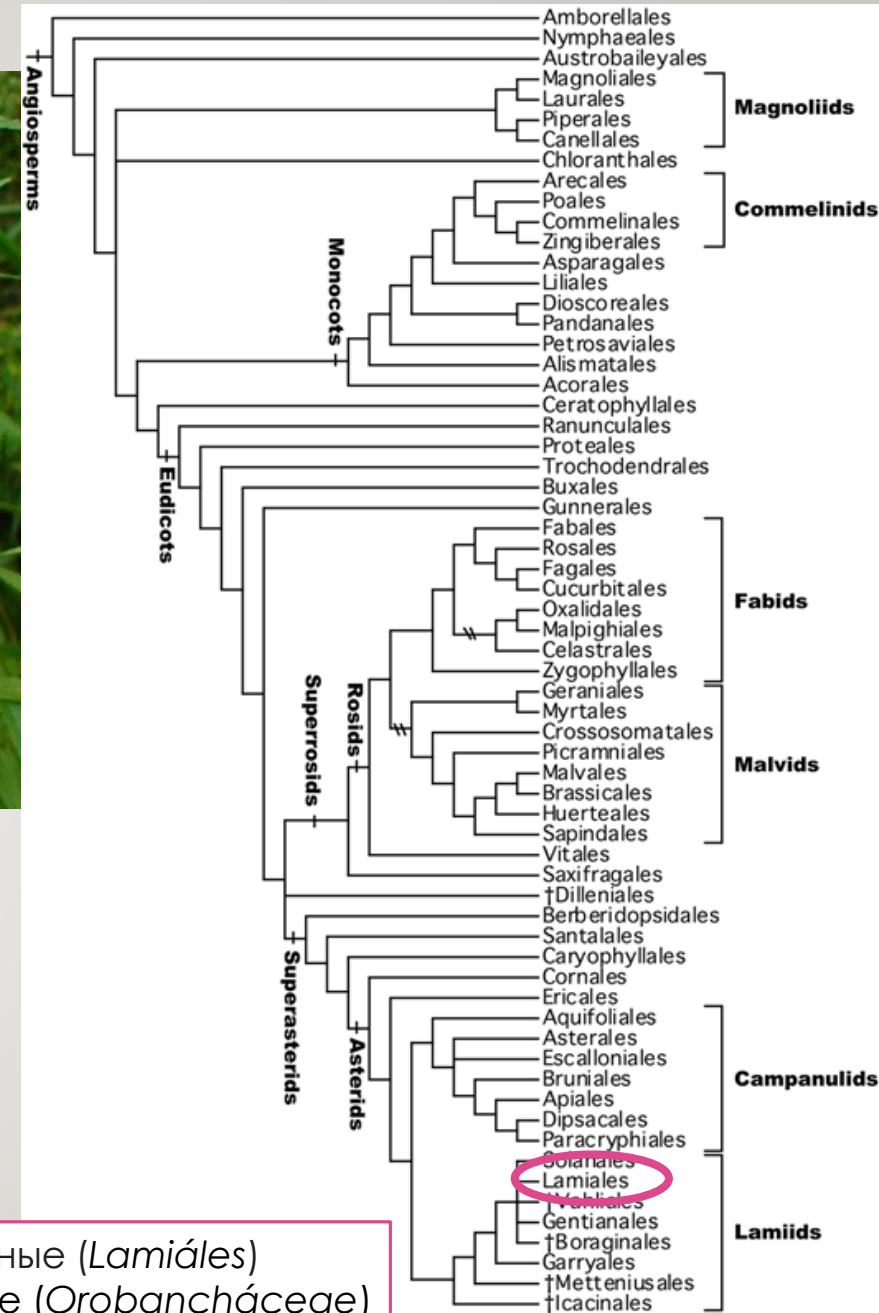
Погремок, *Rhinanthus* sp. - факультативный корневой полупаразит.

- 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*)

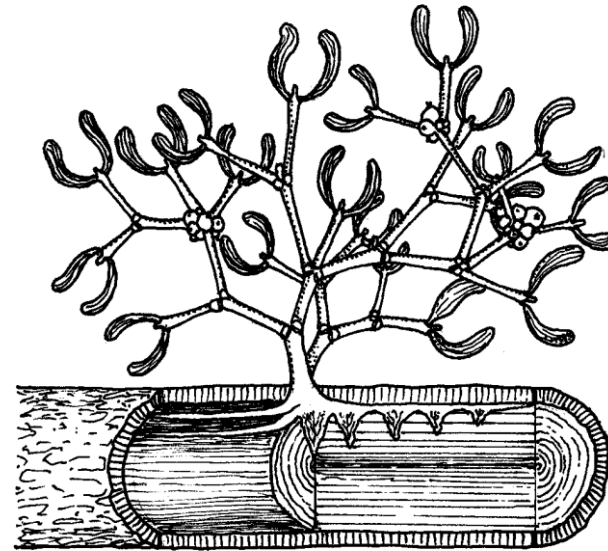


Омела, *Viscum sp.* - облигатный стеблевой полупаразит.

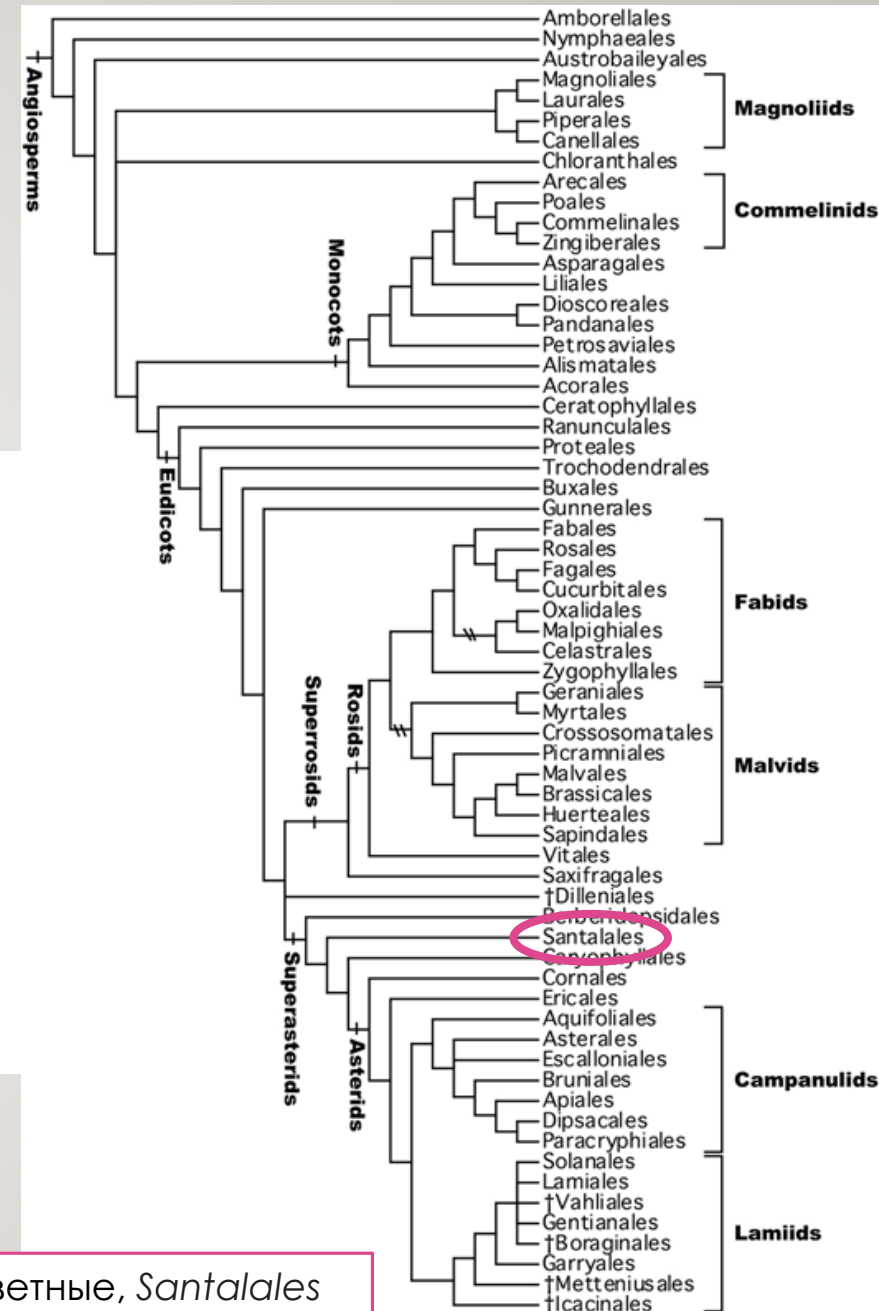


Паразитирует на очень многих древесных растениях: тополях, кленах, соснах, ивах и на разнообразных плодовых деревьях.

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



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

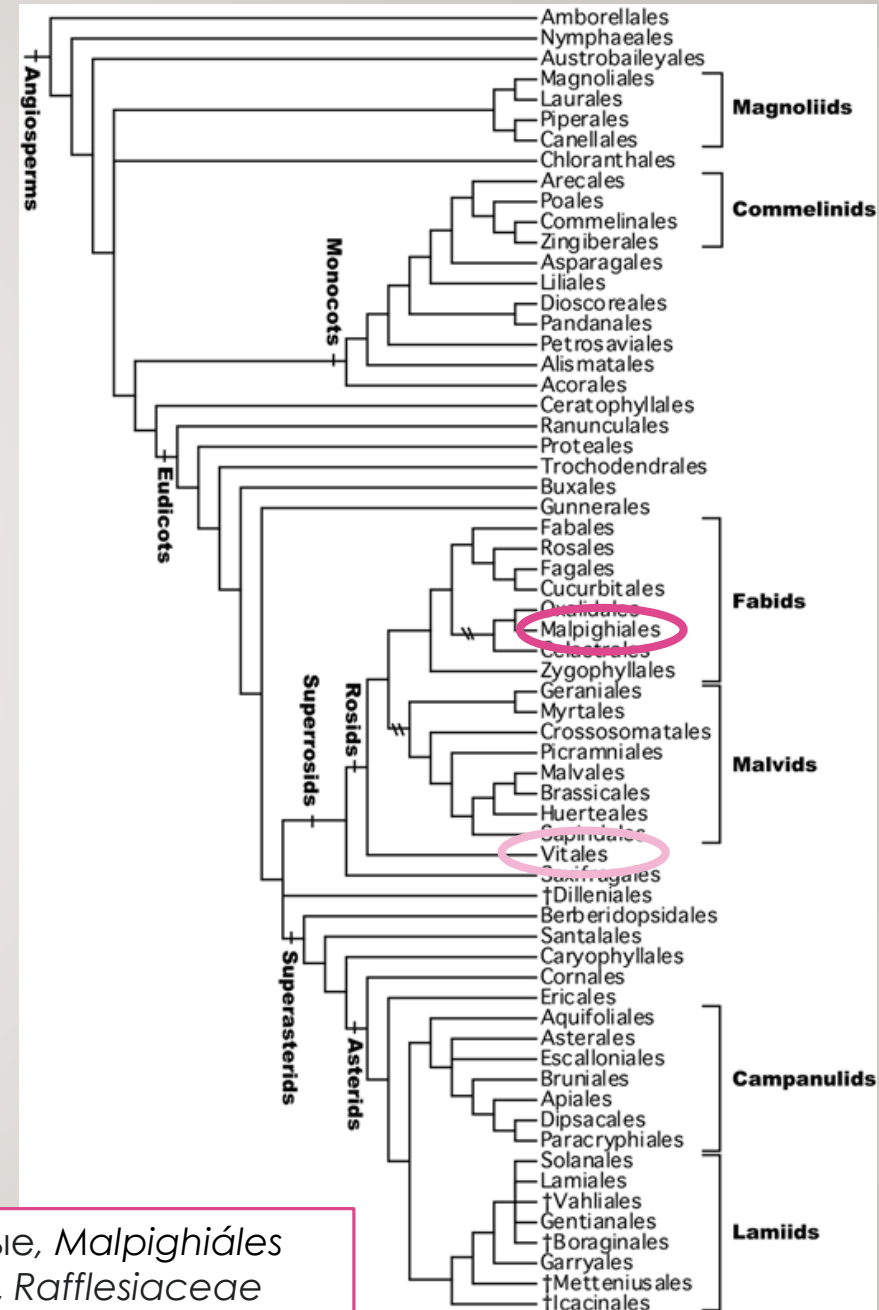


Раффлезия Арнольда, *Rafflesia arnóldii* - корневой голопаразит.



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

- 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, *Malpighiáles*  
Сем. Раффлезиевые, *Rafflesiaceae*

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



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

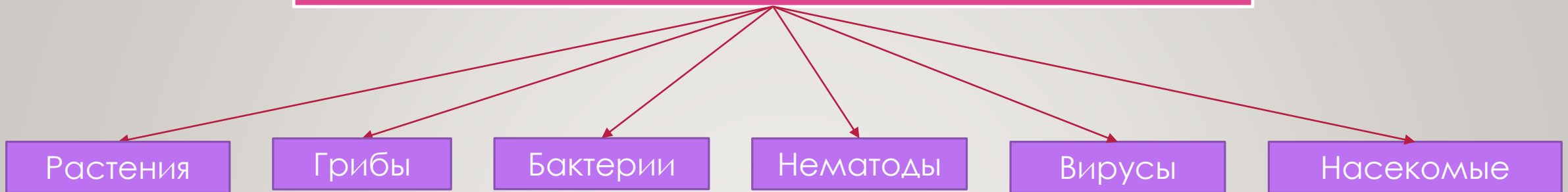


Паразитирует на стеблях и корнях другого эндемика Новой Каледонии – фалькатифолиума тиссолистного (*Falcatifolium taxoides*)

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

# Паразитизм на растениях

Кто может являться паразитом растения?

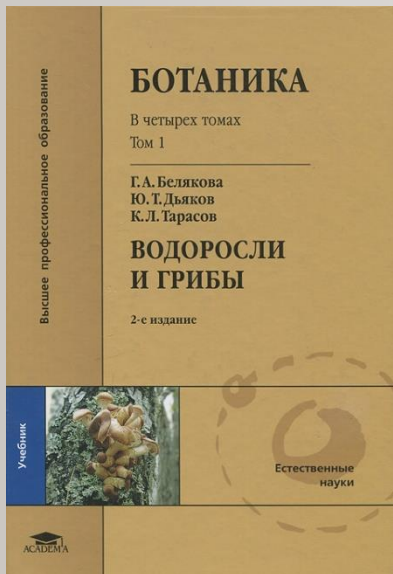


Зачастую для проникновения паразита в растение необходимо, чтобы часть растения была заранее повреждена. К тому же при заражении важную роль играют факторы внешней среды.

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

# Паразитические грибы

- Некротрофы – сначала убивают часть тканей растений, потом питаются этим.
- Биотрофы – извлекают вещества непосредственно из живых клеток.
- Гемибииотрофы – сначала питаются биотрофно, а затем после отмирания ткани питаются некротрофно.



Подробнее тут.  
<https://vk.com/bioversos>

# Паразитические грибы - оомицеты

Фитофтора, *Phytophthora sp.*



Фитофтороз  
томатов



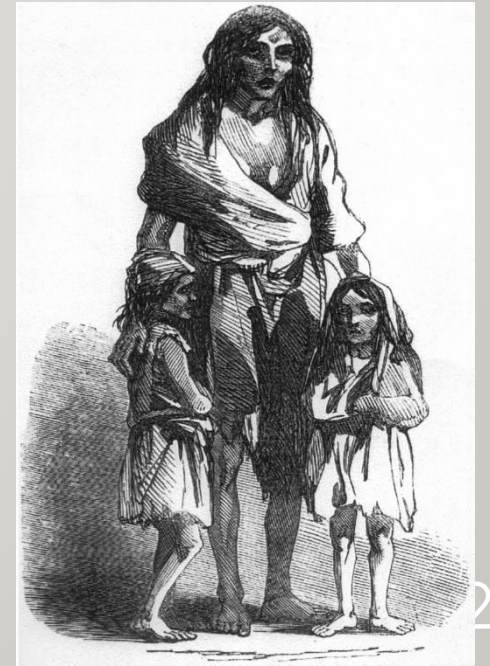
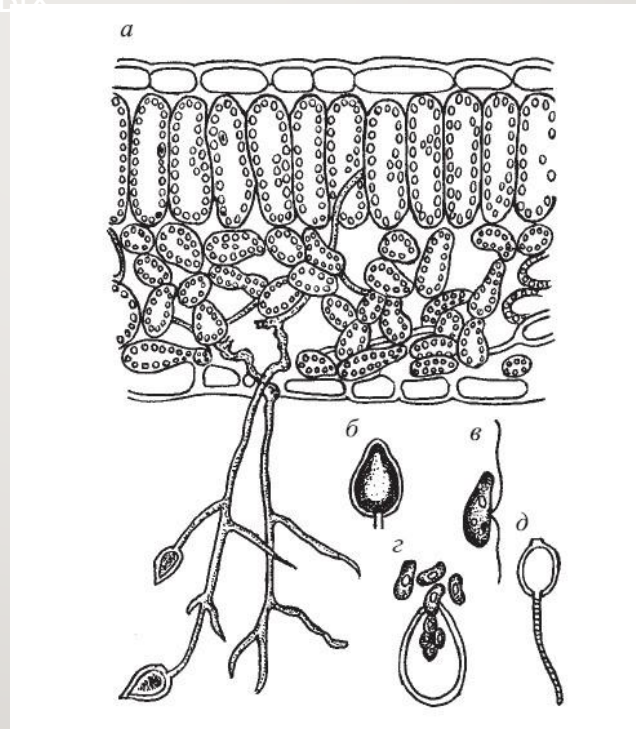
Пораженный клубень картофеля

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*



Вызывает заболевание виноградной лозы, известное как мильдю.



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

# Паразитические протисты - церкозои

Плазмодиофора (*Plasmodiophora brassicae*)

Отдел (тип): Cercozoa

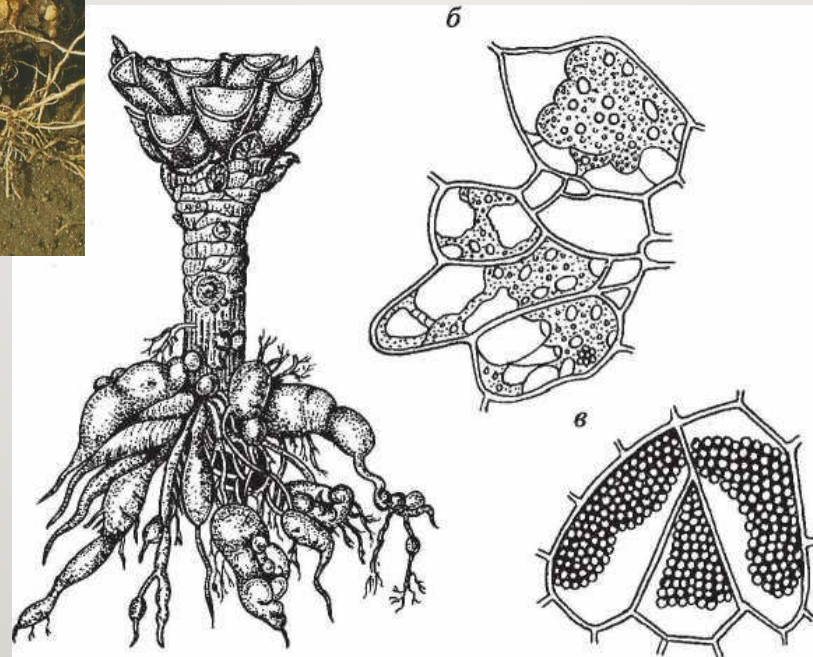
Класс: Phytomyxea

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

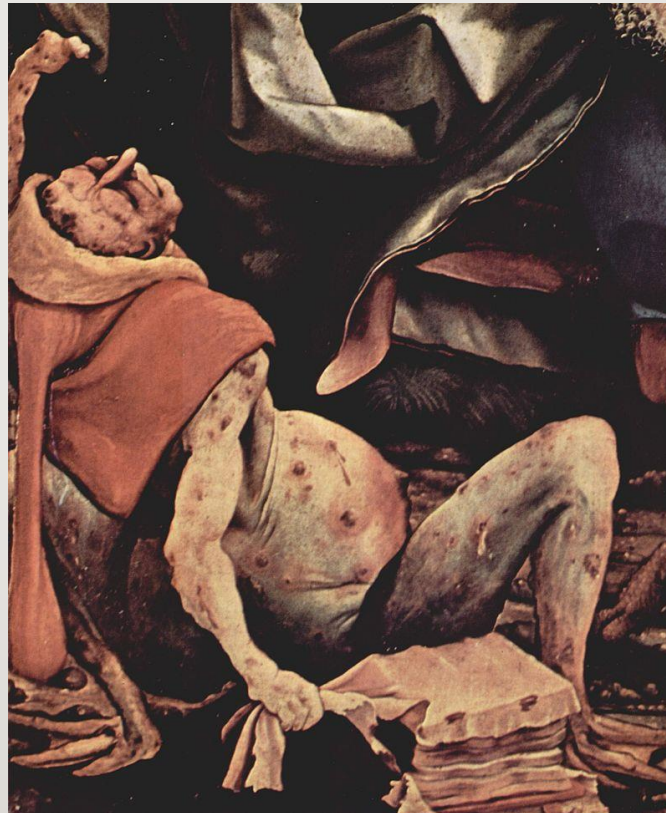
# Паразитические грибы - аскомицеты

Спорынья, *Claviceps sp.*



Паразит некоторых злаков (Poaceae)

Спорынья на ржи (*Secale cereale*)



Отдел: Аскомицеты  
(Ascomycota)

Класс: Сорадиомицеты  
(Sordariomycetes)

Порядок: Гипокрейные  
(Hypocreales)

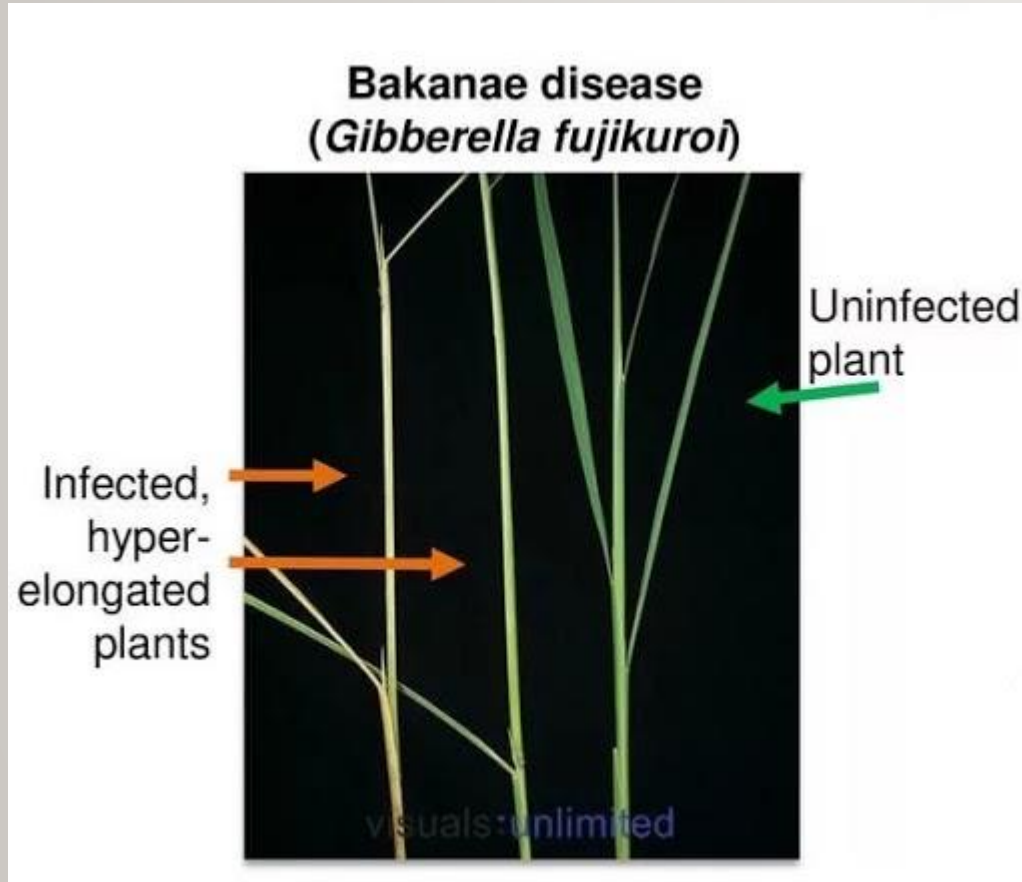
При употреблении хлеба из зерен, полученных из зараженной ржи, развивается болезнь «Антониевский огонь» (эрготизм).

Судороги и спазмы гладкой мускулатуры вызваны эргоалкалоидами, вырабатываемыми склероциями спорыньи.

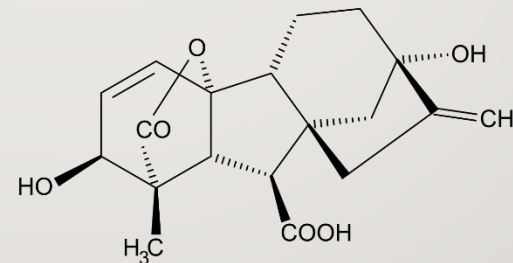
# Паразитические грибы - аскомицеты

*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

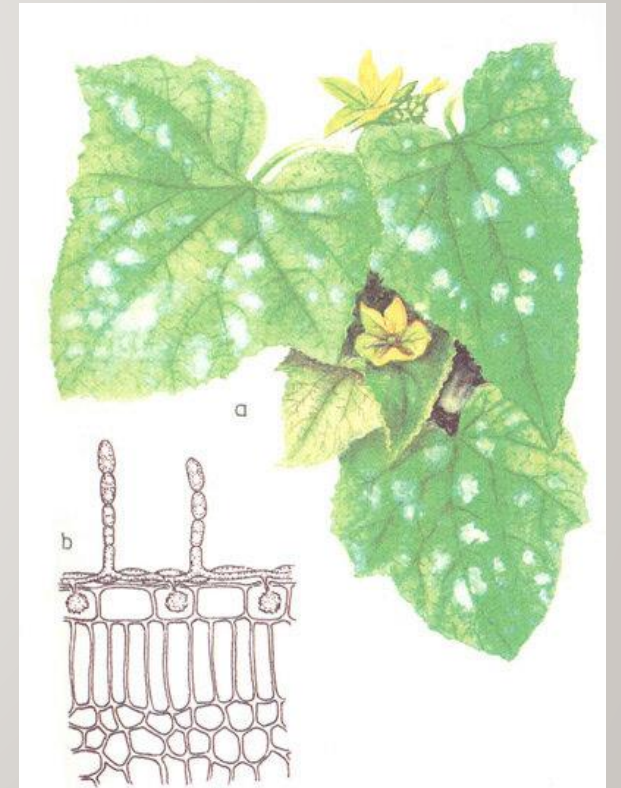


Мучнистая роса (*Podosphaera pannosa*) на стебле розы

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*

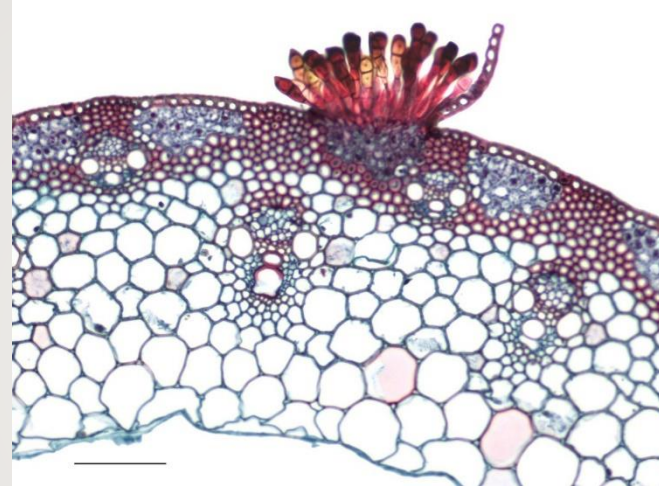
Содержат ядовитые  
алкалоиды, в том числе -  
устилагин.

# Паразитические грибы - базидиомицеты

Ржавчинные грибы (*Pucciniales*)



Бурая ржавчина пшеницы (*Puccinia triticina*)



Стеблевая ржавчина пшеницы (*Puccinia graminis*)



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

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





# 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



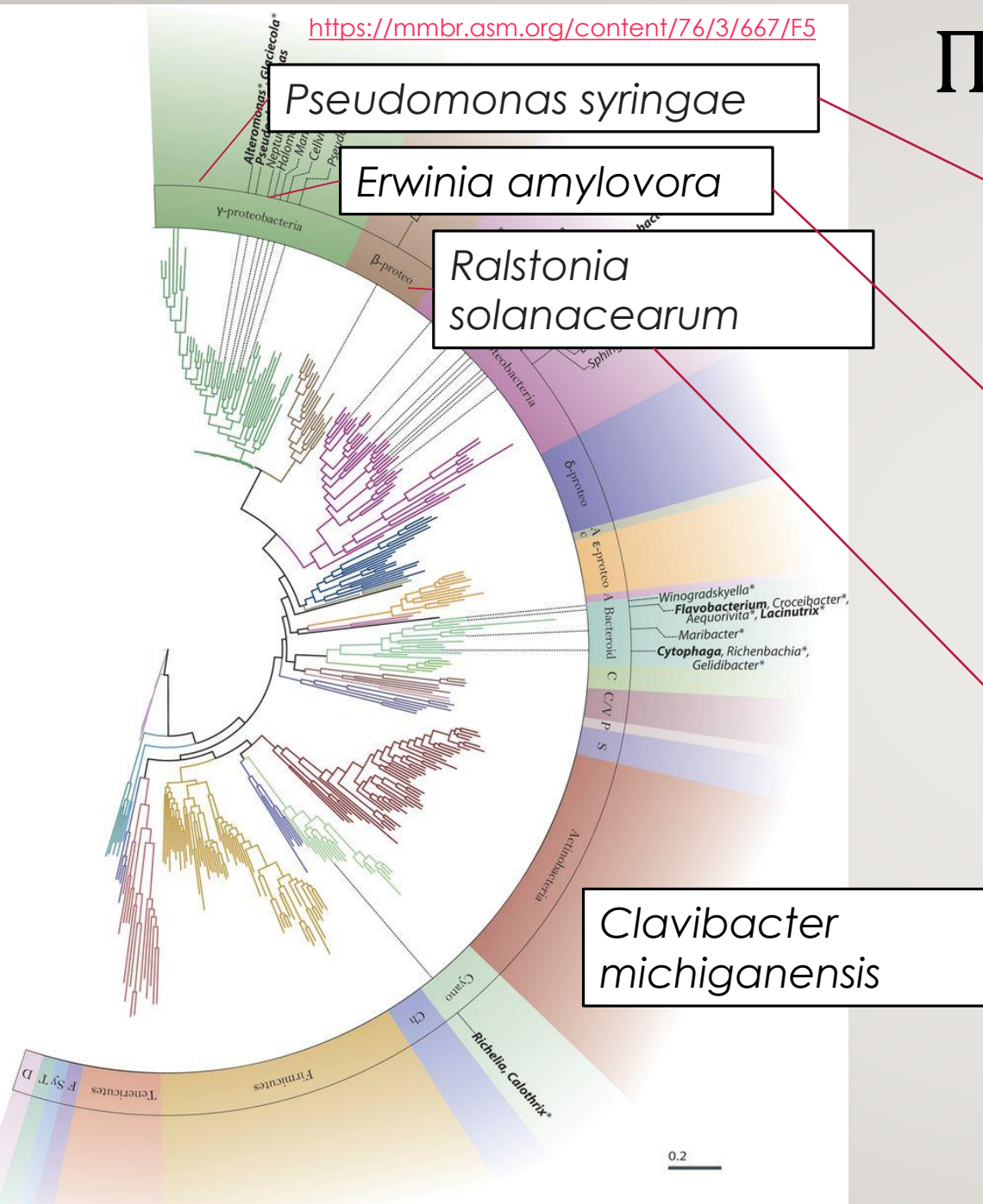
Бактериальный ожог яблони



Бурая гниль картофеля

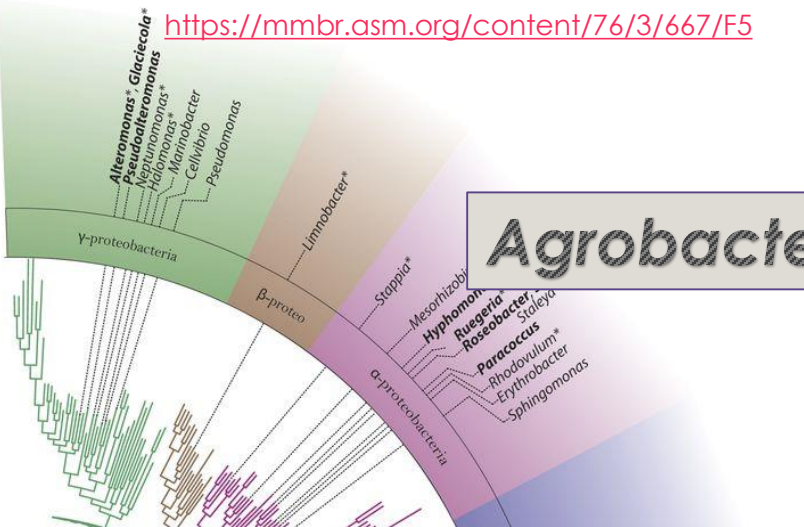


Бактериальный рак томата



0.2

<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).

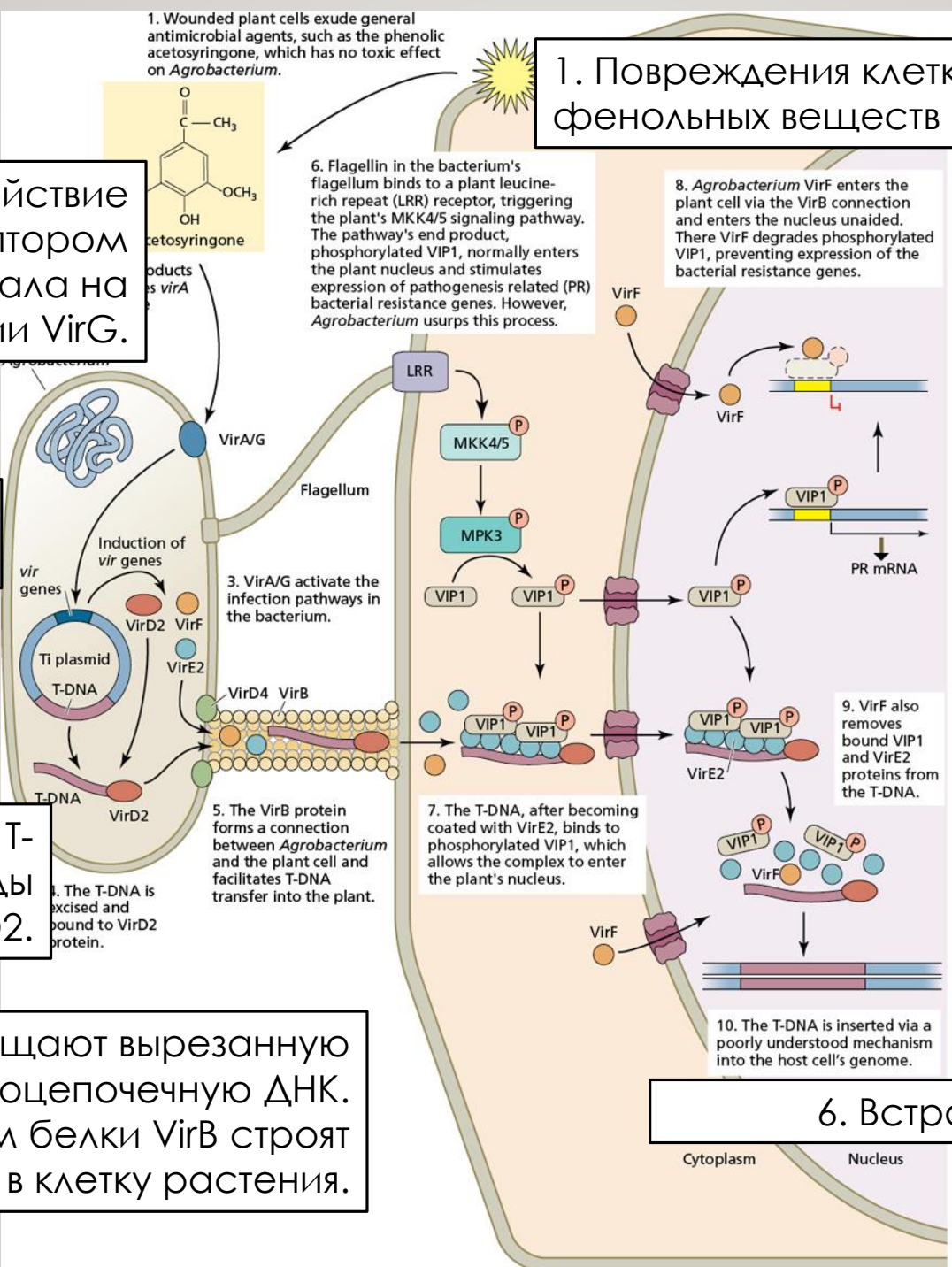
2. Взаимодействие ацетосирингона с рецептором VirA и передача сигнала на фактор транскрипции VirG.

3. Активация Vir-области Ti-плазмиды.

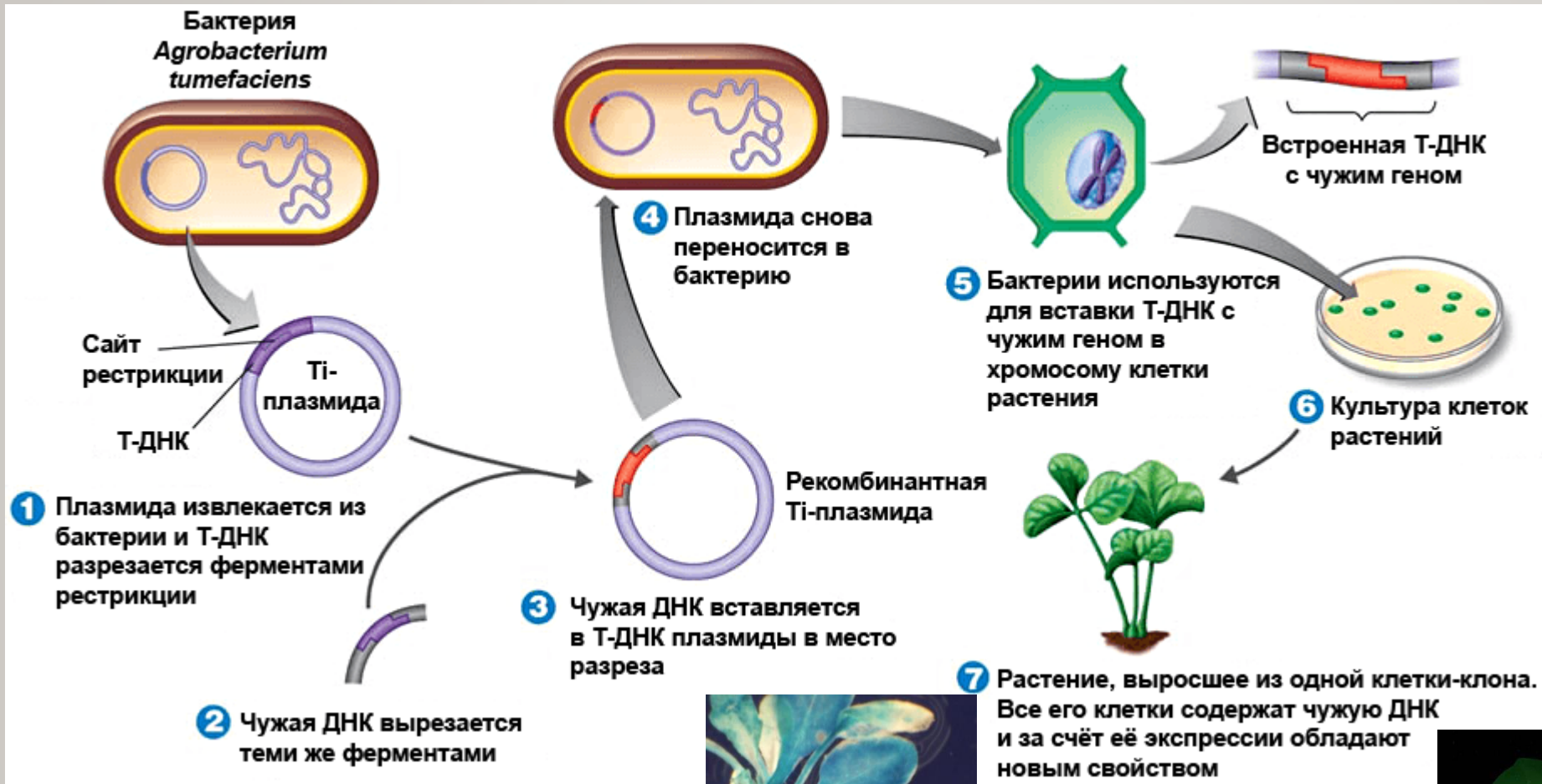
4. Узнавание и вырезание T-области Ti-плазмиды белками VirD1 и VirD2.

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

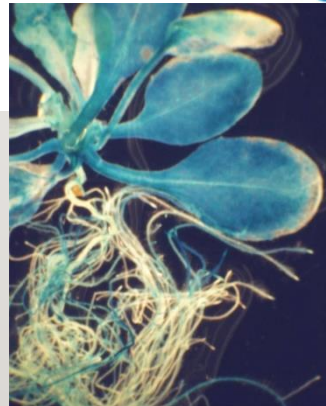
6. Встраивание T-ДНК в геном растения.



# Трансформация растений



Глюкуронидаза (GUS)



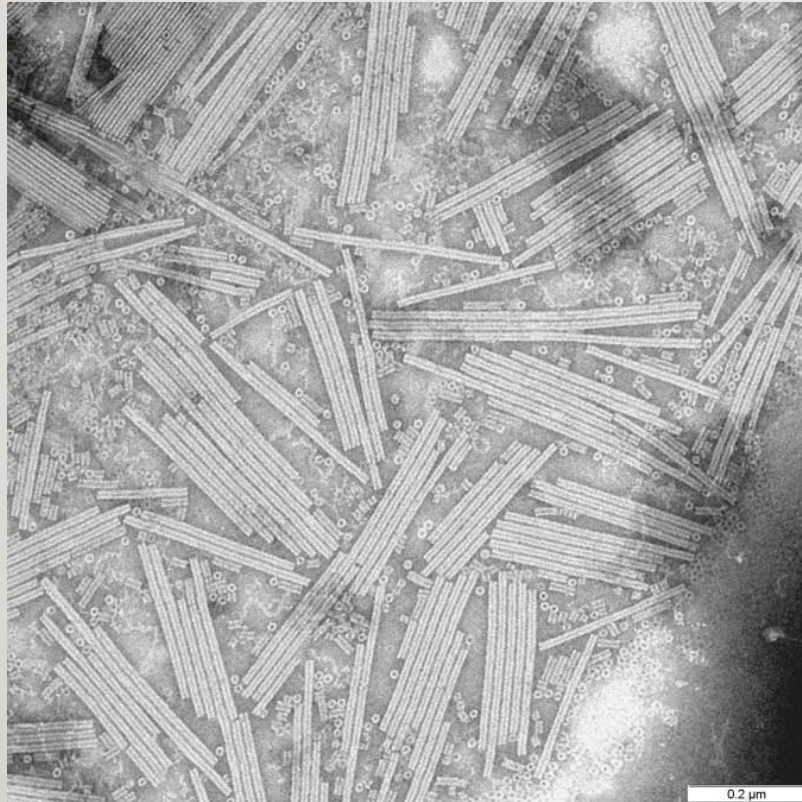
Флуоресцентный белок (GFP)



# 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)*

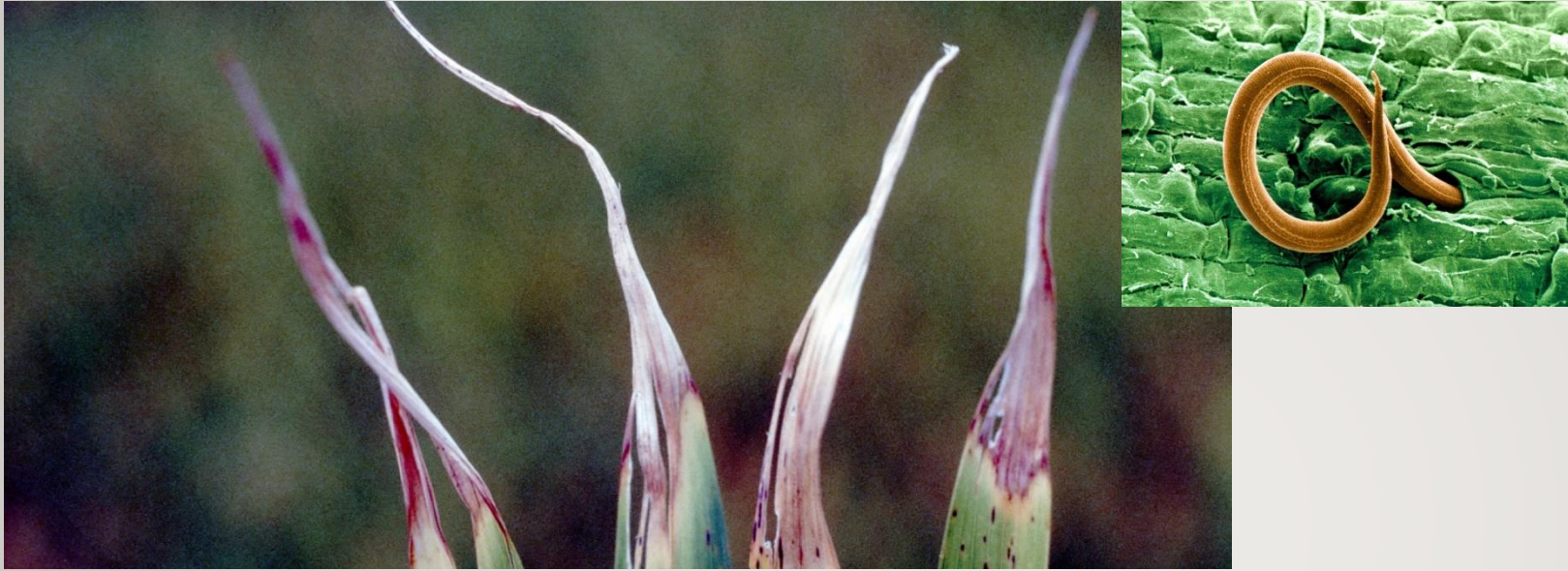


Вирус мозаичности  
тюльпана,  
*Tulip breaking virus*



Вирус скручивания  
листьев картофеля,  
*Potato leafroll luteovirus*

# Паразитические нематоды растений



Листовая рисовая нематода *Aphelenchoides besseyi*



Галловые нематоды, *Meloidogyne* sp.



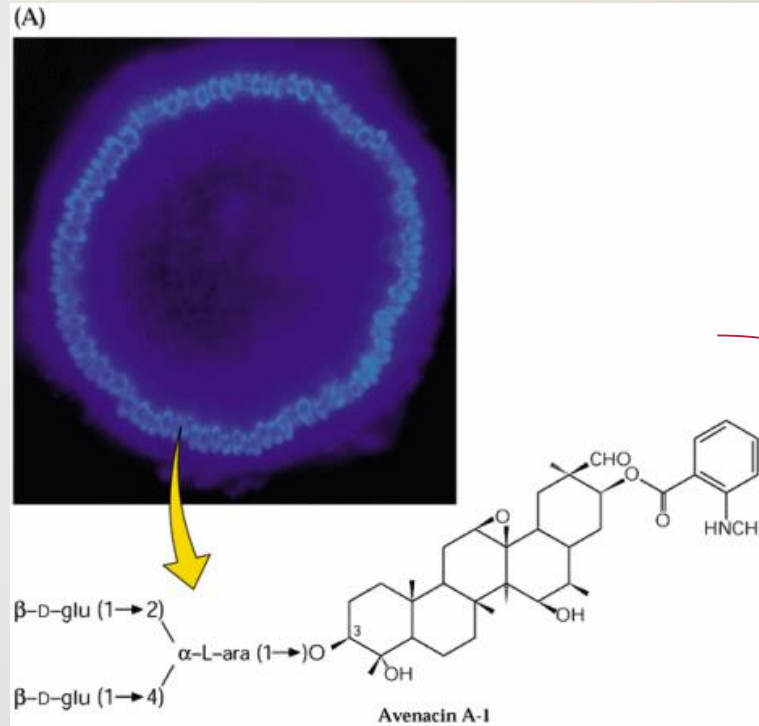
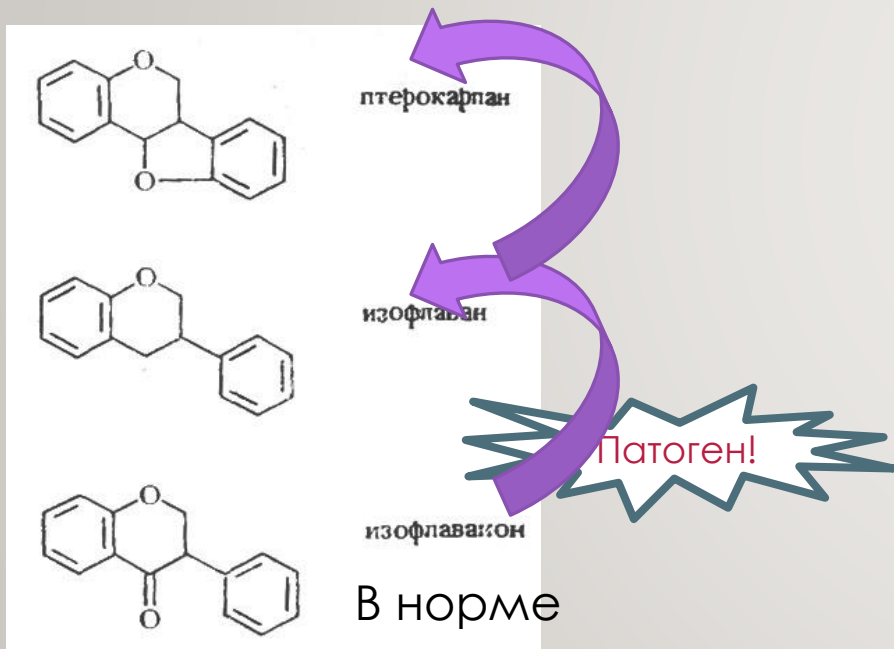
Стеблевая нематода (*Ditylenchus dipsaci*), поражающая лук



# Растения защищаются!

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