

Регуляция развития цветка

Лекция-семинар

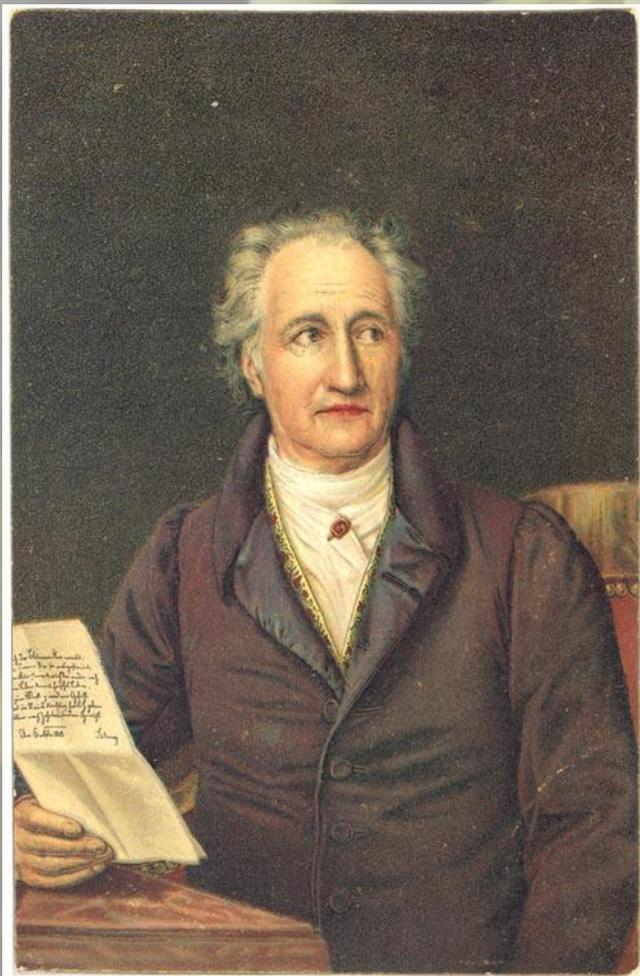


Johann
Wolfgang
Goethe

© Чуб В.В.

Каф. физиологии растений,
Биологический факультет МГУ,
г.Москва.

Иоганн Вольфганг ГЕТЕ



Метаморфоз растений
Die Pflanzenmetamorphose

Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Метаморфоз растений Die Pflanzenmetamorphose



«Прорастание» цветка розы



Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Метаморфоз растений Die Pflanzenmetamorphose

Переход от семядолей
к зеленым листьям



Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Метаморфоз растений
Die Pflanzenmetamorphose

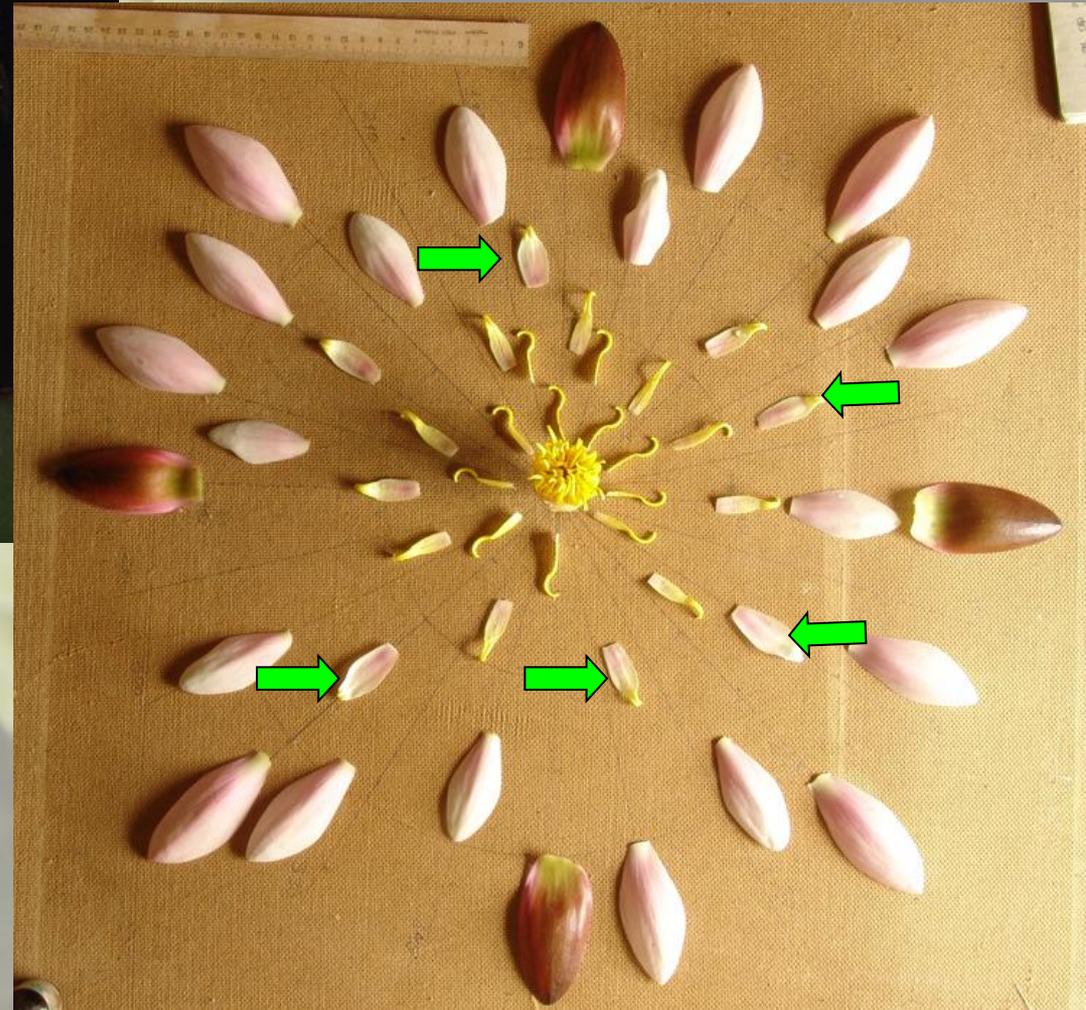
**Переход от чашелистиков
к лепесткам**



Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Метаморфоз растений
Die Pflanzenmetamorphose

Переход от лепестков к тычинкам



Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

Метаморфоз растений Die Pflanzenmetamorphose



«Идеальное» растение
Urpflanze

GOETHE'S URPFLANZE

Boehme's 'Qualities'

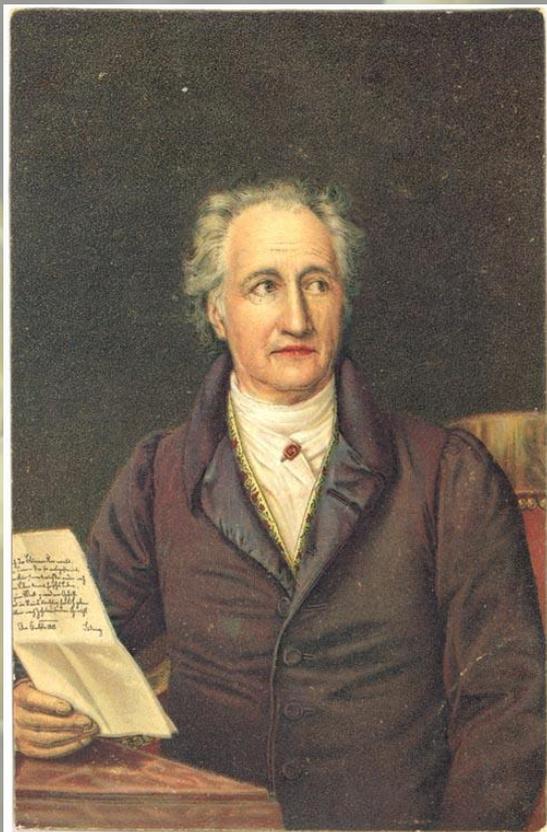
7. 'Seed'. The sum of all previous Qualities.
6. 'Intelligible Sound.'
5. Union of opposites. Bride and Bridegroom.
4. The wheel stands still. Transitional phase.
3. 'Kreuzrad.' The two opposites clash and revolve.
2. Will creates its own opposite. Duality and extension appear. Expansion.
1. Uncreated Will. 'Seed.' Contraction.

Stages of the Plant

7. 'Seed'. Contraction.
 6. Fruit. Expansion.
 5. Sexual Organs Contraction.
 4. Corolla Expansion.
 3. Calyx. Contraction (Stem contracts towards calyx)
 2. Stem. Expansion.
 - (Cotyledons. Duality appears.)
 1. 'Seed.' Contraction.
- Roots not included in Goethe's scheme.



Иоганн Вольфганг ГЕТЕ

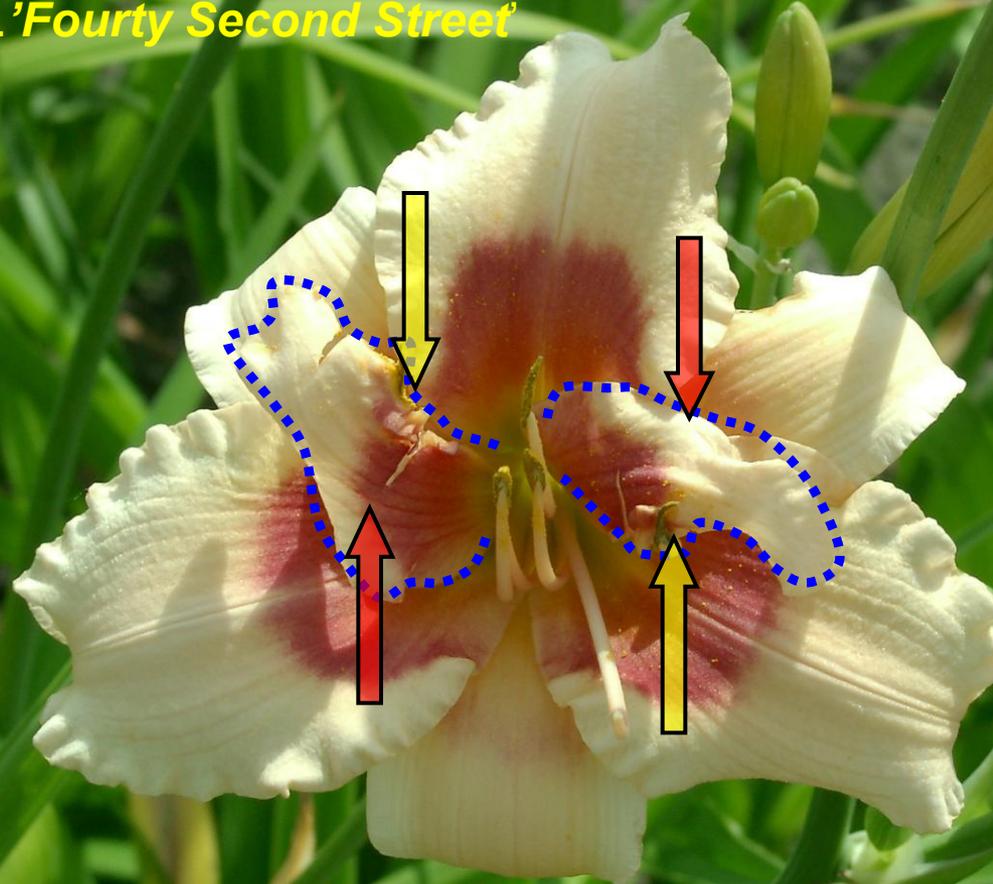


Фридрих ШИЛЛЕР



Понятие гомеозиса

Heimerocallis X hybridus
cv. 'Fourty Second Street'



Homeosis is

“the assumption by one member of a meristic series, of the form or characters proper to other members of the series”

Bateson, 1894



При гомеозисе

1. Число и положение органов постоянны.
2. Орган занимает то же положение, но отличается по признакам.
(Например, тычинка заменяется на лепесток).

**Арабидопсис Таля –
модельное растение
из семейства Крестоцветные**



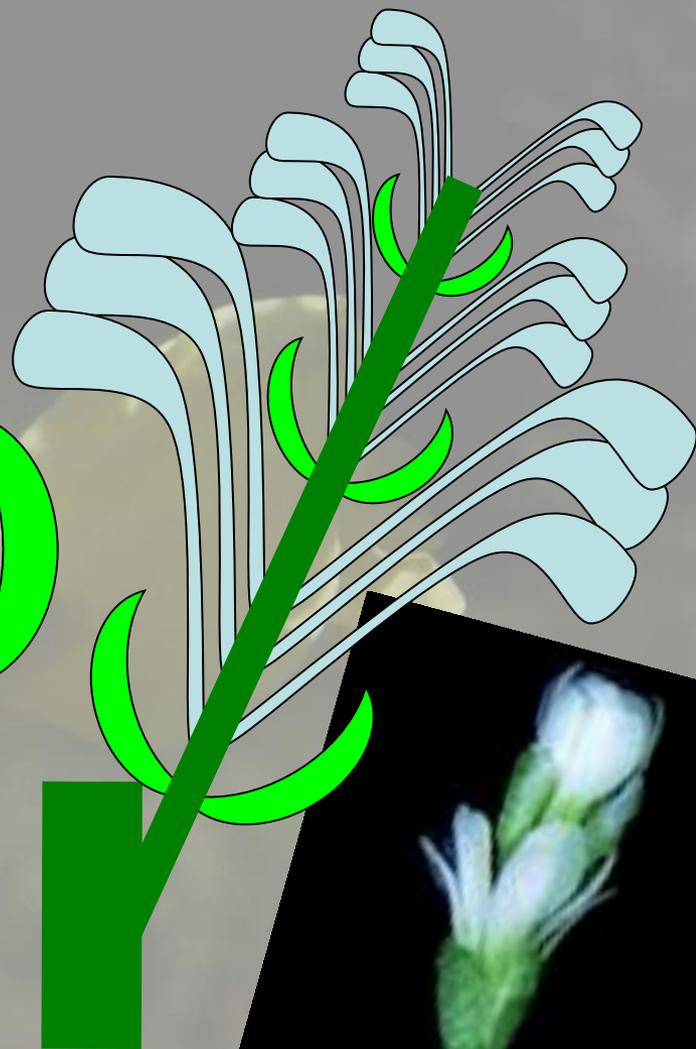
Арабидопсис Таля – модельное растение из семейства Крестоцветные

«Нормальный» цветок:
дикий тип



Арабидопсис Таля – модельное растение из семейства Крестоцветные

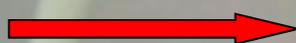
Мутант *agamous*



Чашелистики

Лепестки

Тычинки



Лепестки

Плодолистики

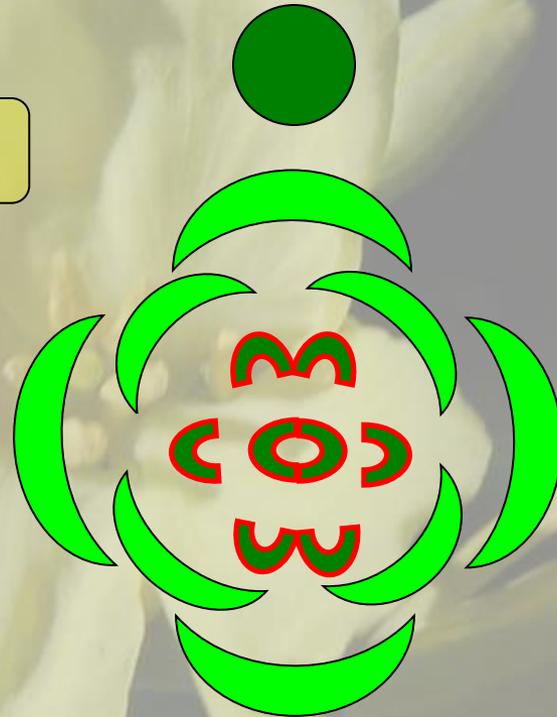


Бутон



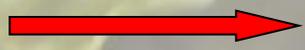
Арабидопсис Таля – модельное растение из семейства Крестоцветные

Мутант *pistillata*



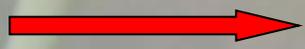
Чашелистики

Лепестки



Чашелистики

Тычинки



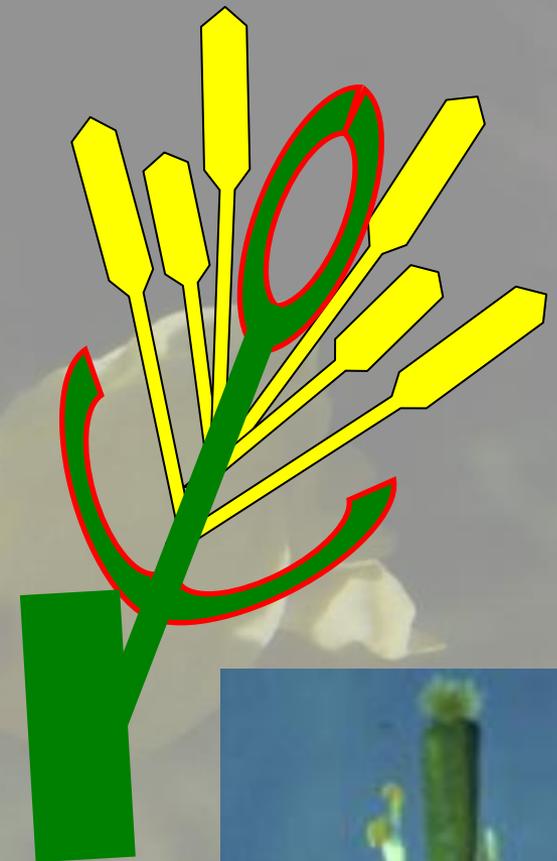
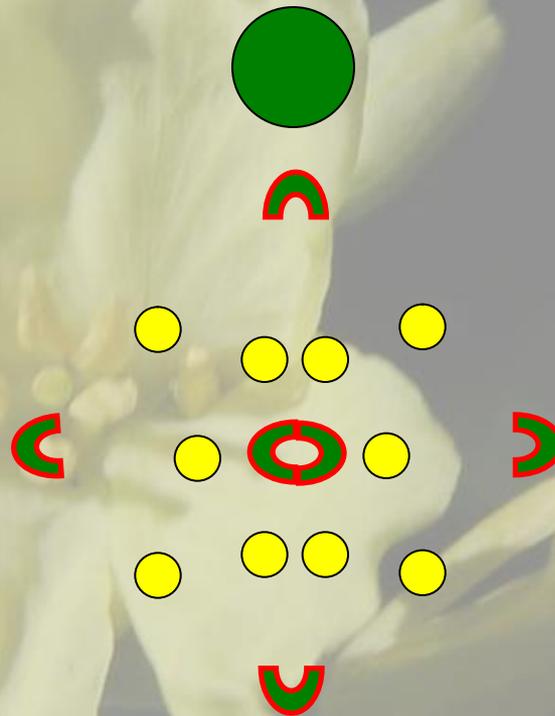
Плодолистики

Плодолистики



Арабидопсис Таля – модельное растение из семейства Крестоцветные

Мутант *apetala2*



Чашелистики → Плодолистики
Лепестки → Тычинки
Тычинки
Плодолистики



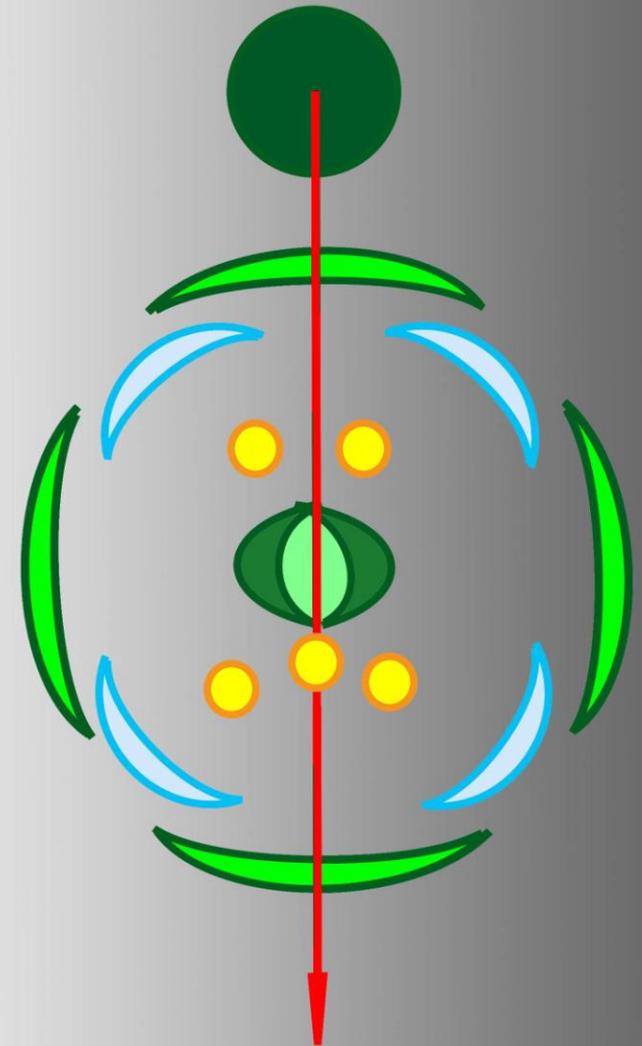
**АВС-модель
генетической
регуляции
развития цветка**



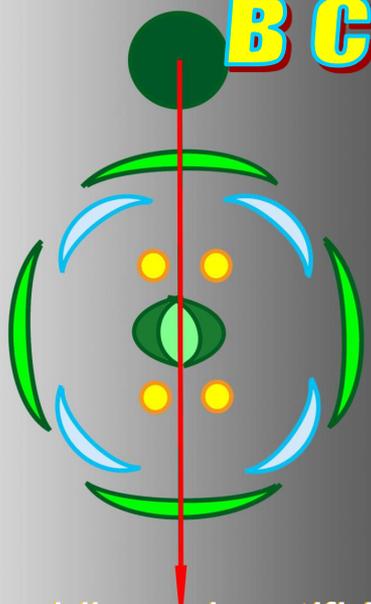
Полиморфизм в расположении органов андроцея у цветков *Arabidopsis* дикого типа

1. Типичный цветок: $K_4 C_4 A_{4+2} G_2$
2. Цветок без одной короткой тычинки: $K_4 C_4 A_{4+1} G_2$
3. Цветок без обеих коротких тычинок: $K_4 C_4 A_4 G_2$
4. Вставка дополнительной тычинки между двумя длинными: $K_4 C_4 A_5 G_2$

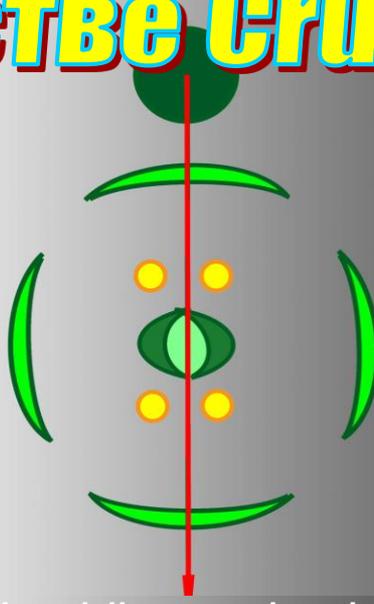
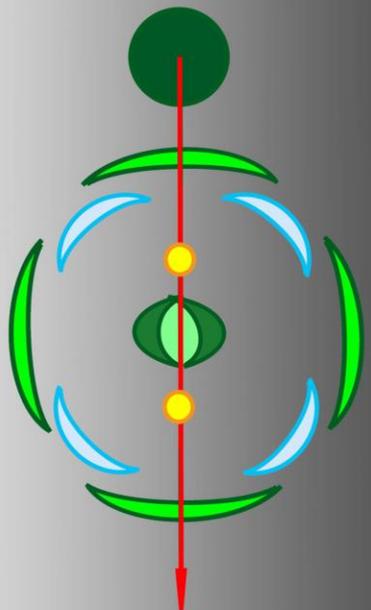
Среднее число тычинок в цветках дикого типа всегда меньше 6.



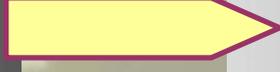
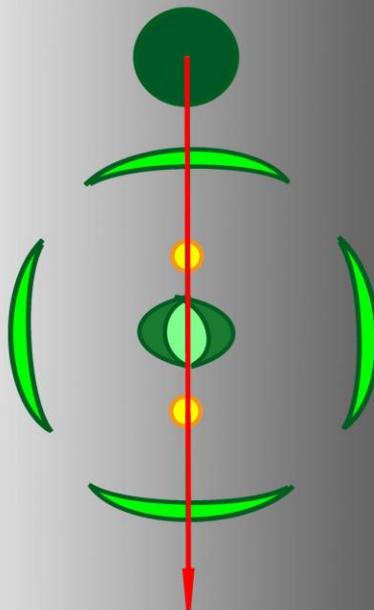
Многообразие типов цветков в семействе Cruciferae



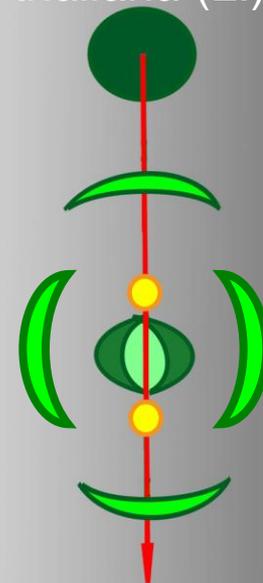
Lepidium pinnatifidum Ledeb.



Lepidium ruderale L.



Arabidopsis thaliana (L.) Heyn.



apetala2 –
аллели с сильной
экспрессивностью

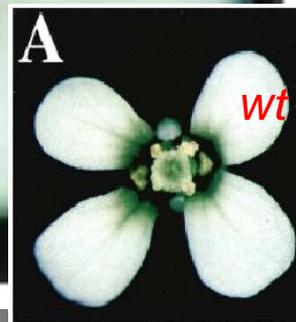
Корреляция структуры гинецея с числом и расположением тычинок

ТЫЧИНОК

Число и положение тычинок
у *Arabidopsis* зависят
от структуры гинецея,
но не от числа органов околоцветника.

From Meyerowitz, 1997

clv1-4

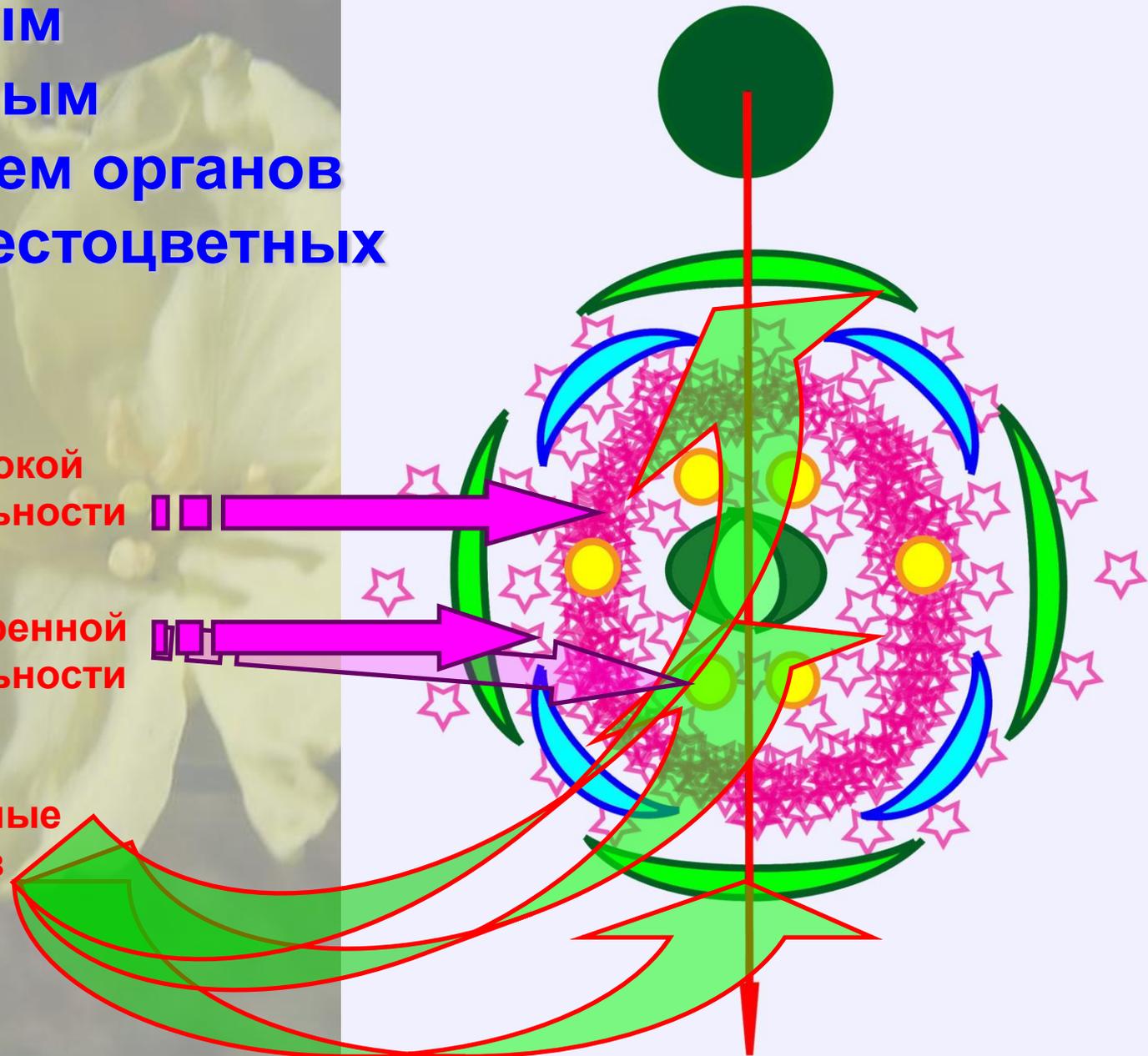


Распределение участков со стабильным и нестабильным расположением органов в цветке у крестоцветных

Зона высокой нестабильности

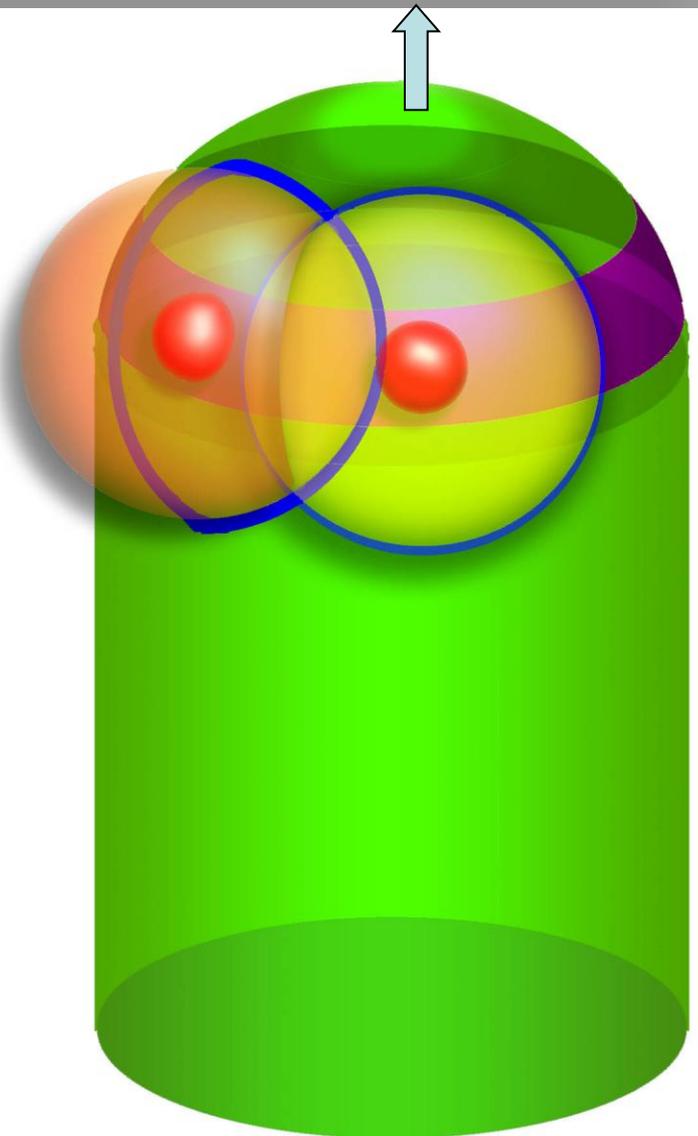
Зона умеренной нестабильности

Наиболее стабильные положения органов



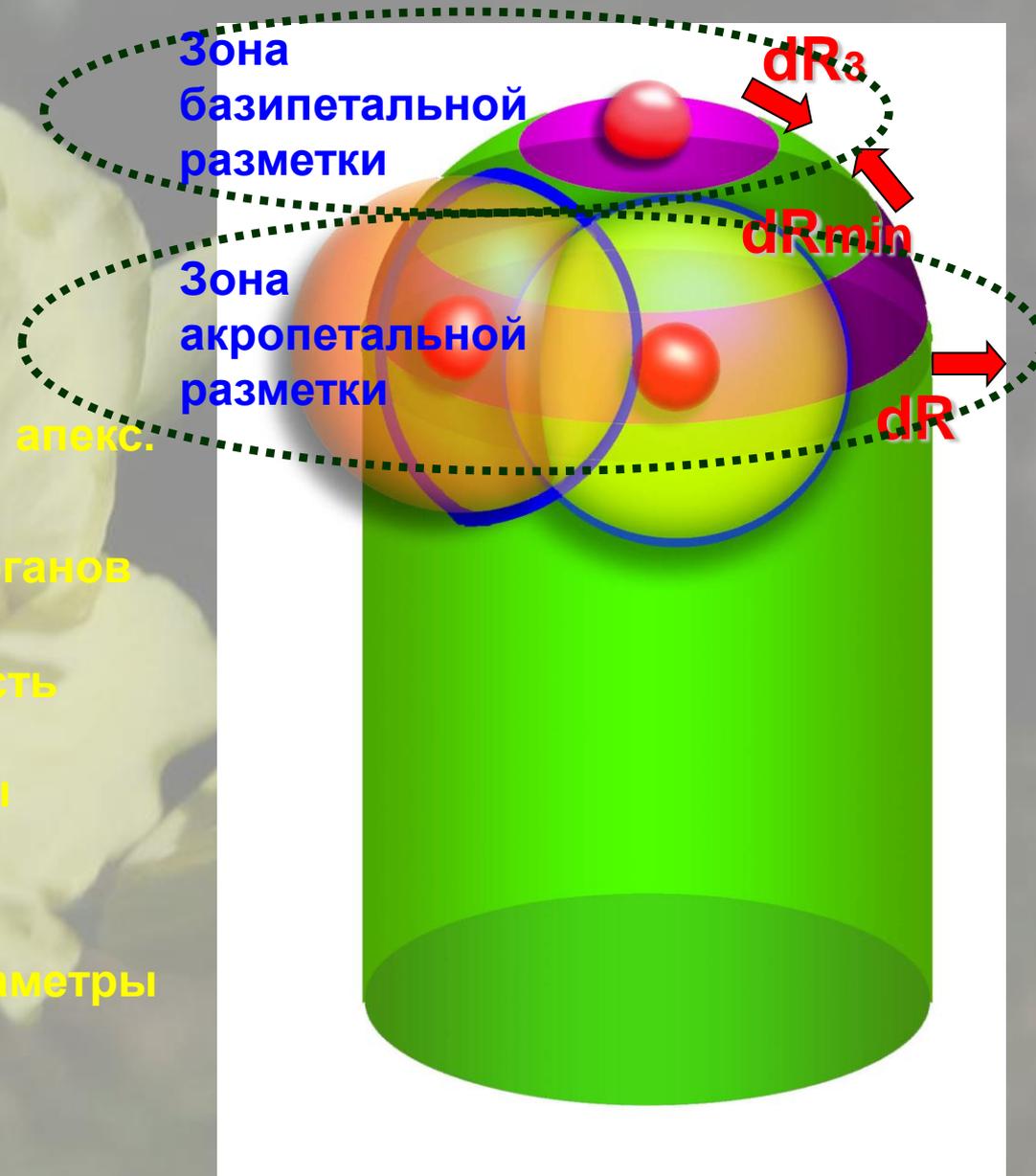
Основные принципы моделирования

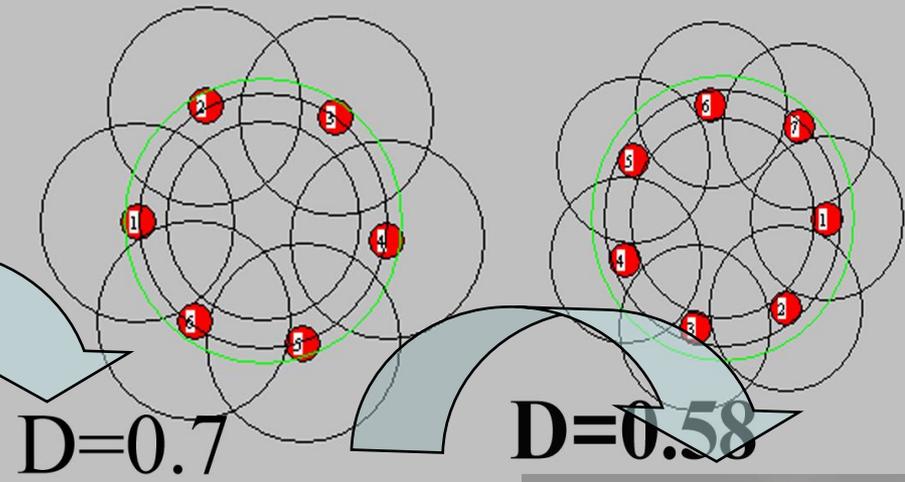
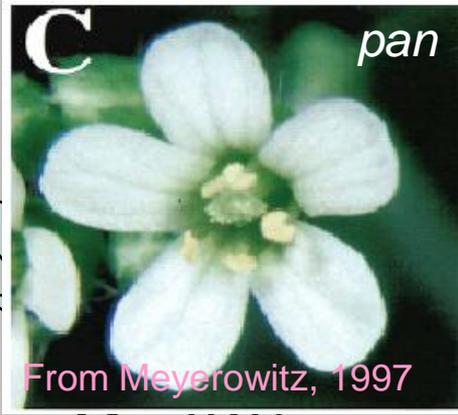
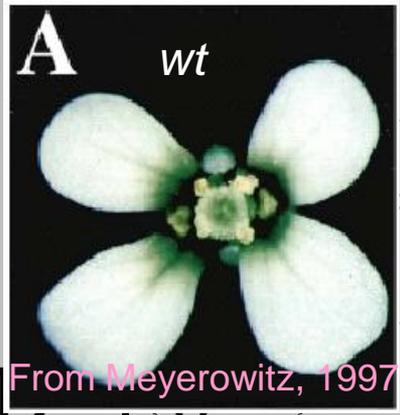
1. Побег аппроксимируется цилиндром радиуса R , а меристема – полусферой того же радиуса.
2. Возникновение примордиев идет в периферической зоне, ограниченной R_{min} и R_{max} .
3. Меристема растет со скоростью dH .
4. Примордий имеет начальный диаметр d_0 .
5. Вокруг примордия расположена зона ингибирующего влияния диаметром D . В этой зоне примордии не возникают.
6. Новый примордий располагается на минимальном расстоянии от предыдущего.



Дополнения, внесенные для моделирования разметки цветка *Arabidopsis*

1. Введена возможность посадки органов на флоральный апекс. При этом постулируем, что $dH=0$.
2. Радиус новой зоны посадки органов обозначен как R_3 .
3. В цветке появилась возможность к интеркалярному росту за счет увеличения диаметра меристемы со скоростью dR .
4. Границы зон посадки органов можно перемещать, задавая параметры dR_3 и dR_{min} , отличные от 0.





Поведение модели при уменьшении

D_{\min} от 1.2 до 1.0

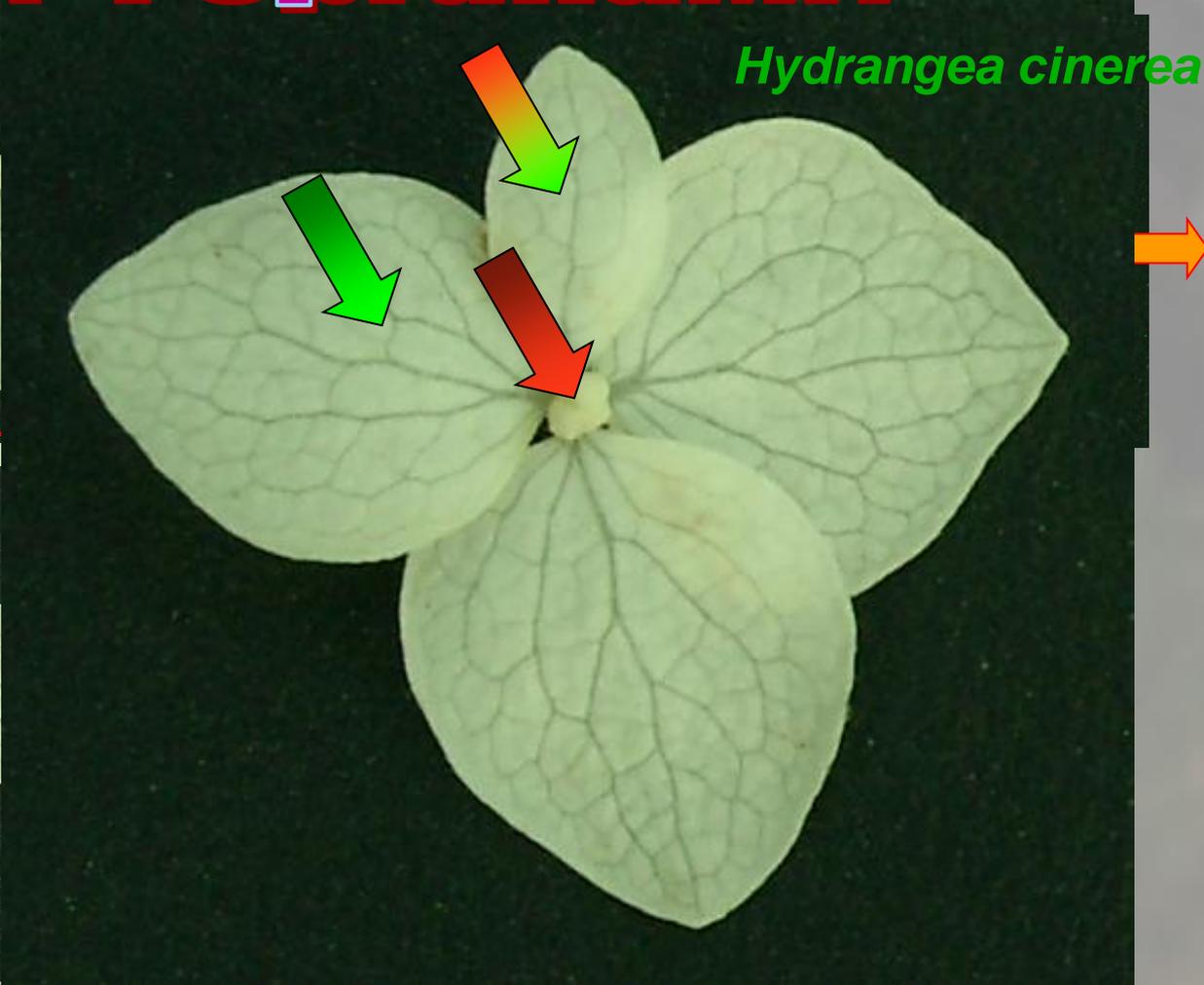
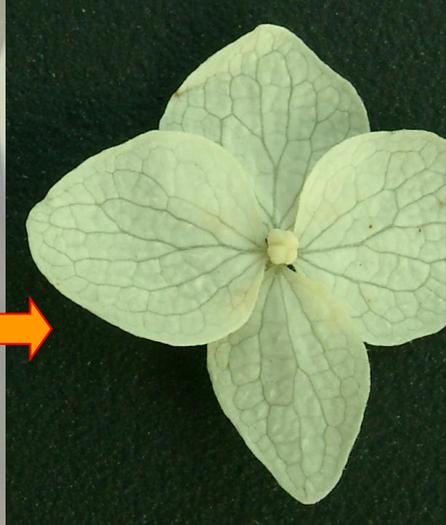
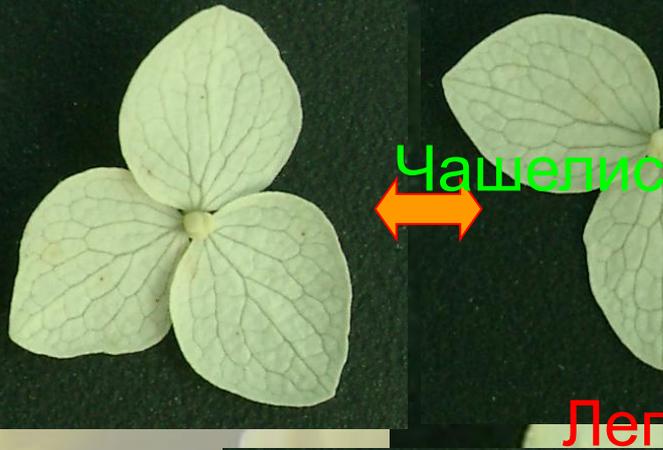
$D=1.0$

Предсказания модели:

1. При увеличении отношения размер меристемы/размер примордия один из органов внутреннего круга (например, лепесток) перемещается во внешний круг, постепенно приобретая новые признаки (признаки чашелистиков)

2. Одновременно в том же секторе цветка над перемещающимся органом происходит сближение органов внутреннего круга (например, тычинок) и они приобретают новые черты (некоторые признаки лепестков)

Переходы декуссатного филлотаксиса с 3 и 4 органами



Положение групп тычинок относительно карпелл в цветках *Hypericum*

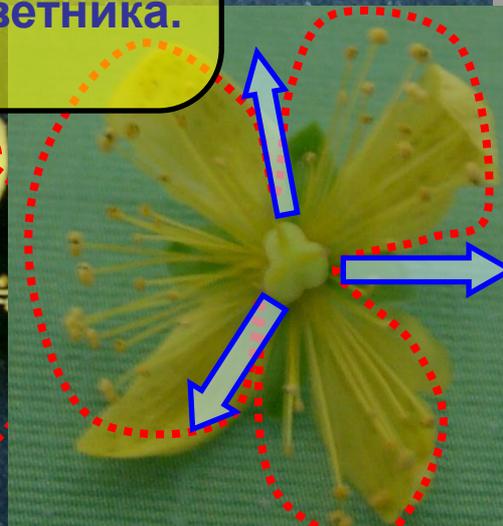
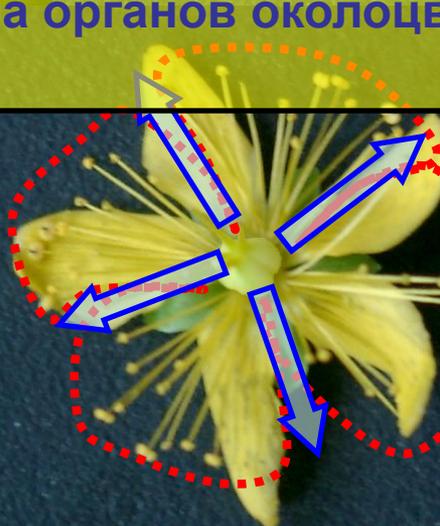
Hypericum perforatum



Hypericum ascyron



Число и положение групп тычинок
у *Hypericum* зависят
от структуры гинецея,
но не от числа органов околоцветника.



абаксиальный чашелистик

гинецей

лепесток

длинная тычинка

латеральный чашелистик

длинная тычинка

латеральный чашелистик

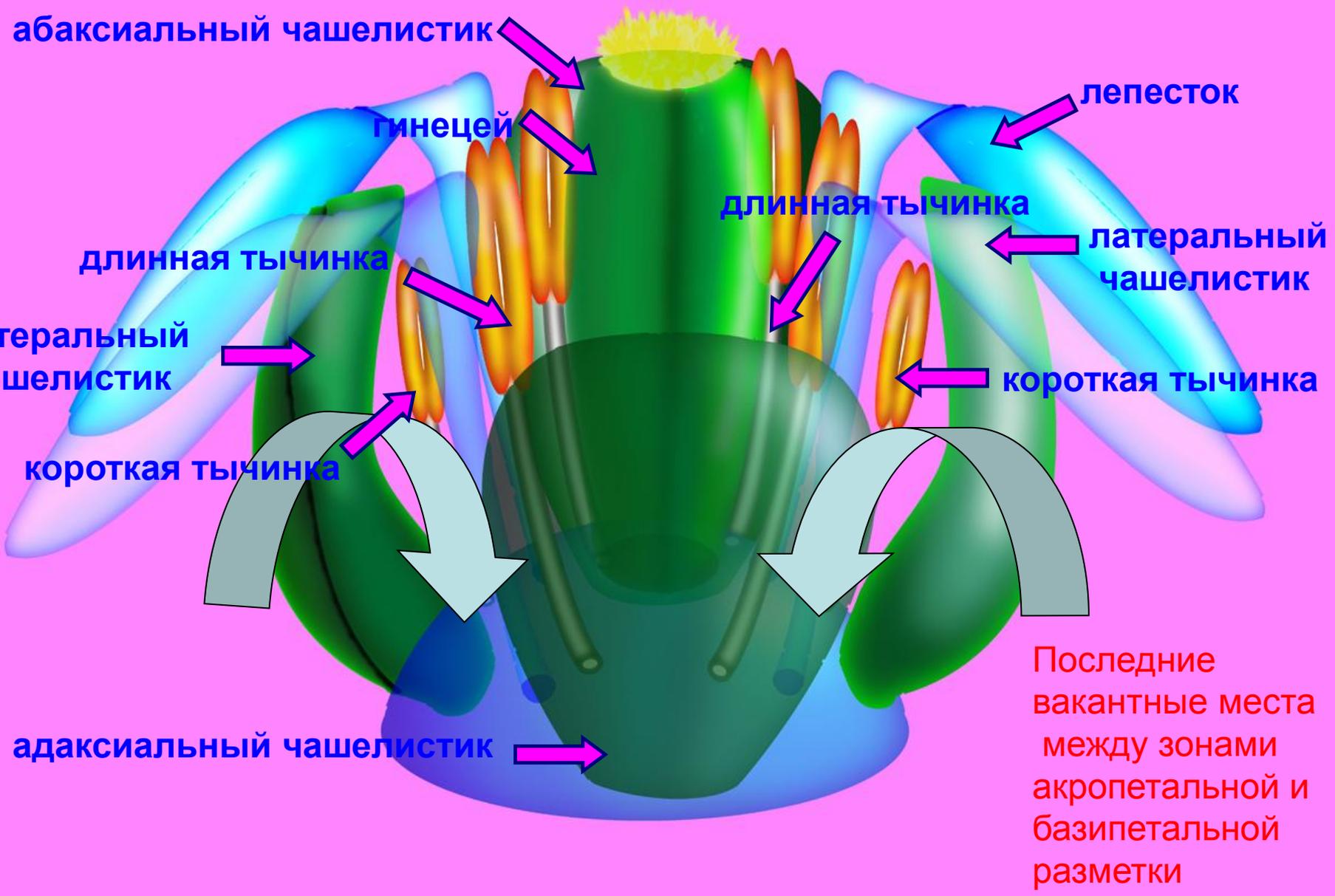
короткая тычинка

короткая тычинка

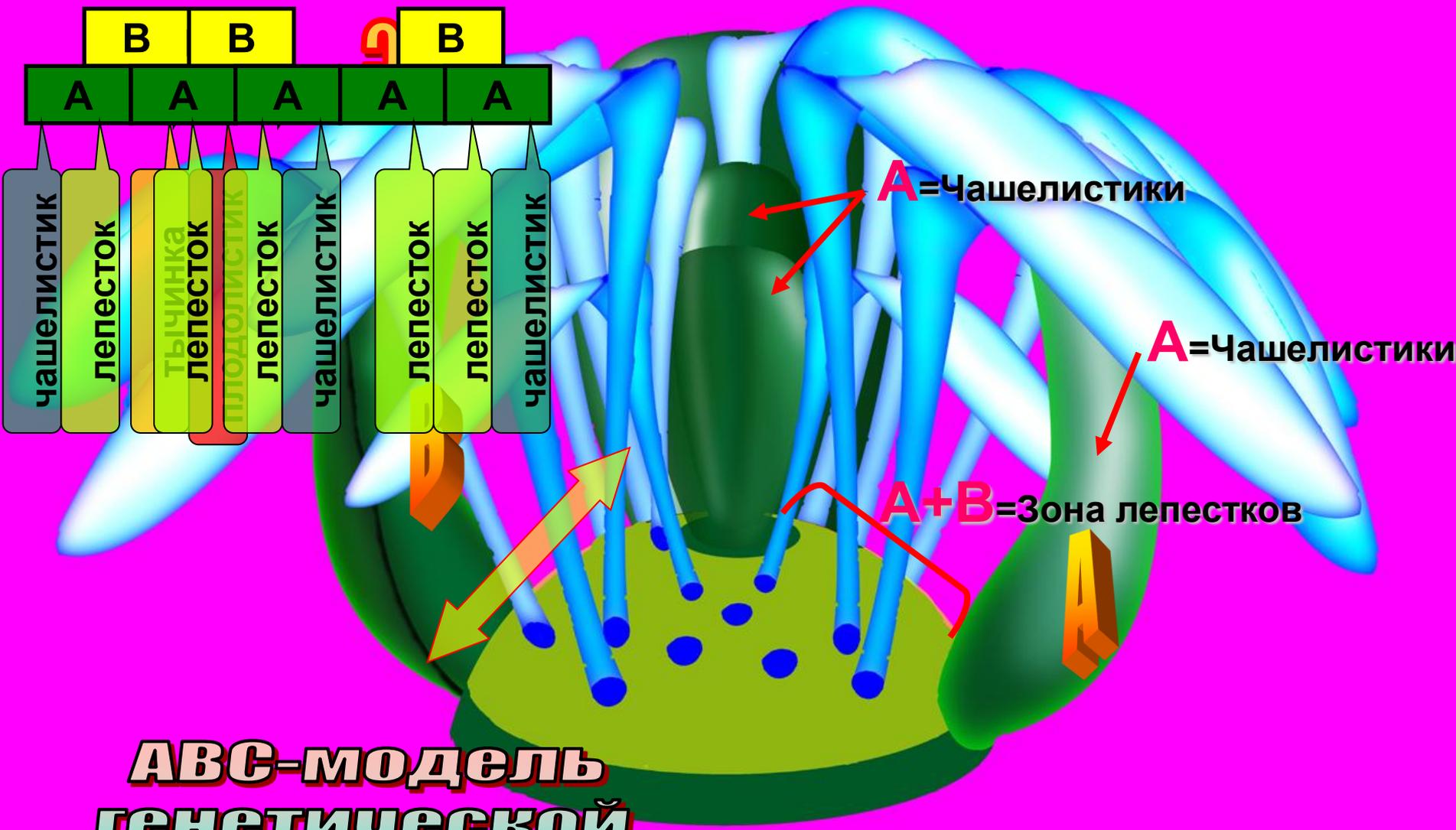
адаксиальный чашелистик

Последние
вакантные места
между зонами
акропетальной и
базипетальной
разметки

Порядок разметки органов в цветке *Arabidopsis thaliana* (дикий тип)





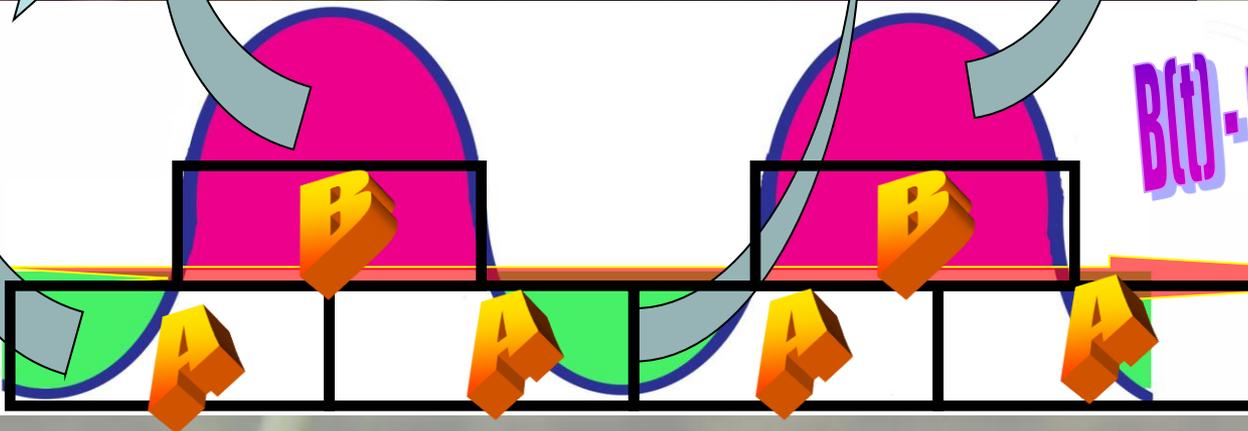


**ABC-модель
генетической
регуляции
развития цветка
и теория разметки**

Пример
осцилляции
генетической
функции В
в цветках
Arabis caucasica
flore pleno

$B(t)$ - изменение во времени

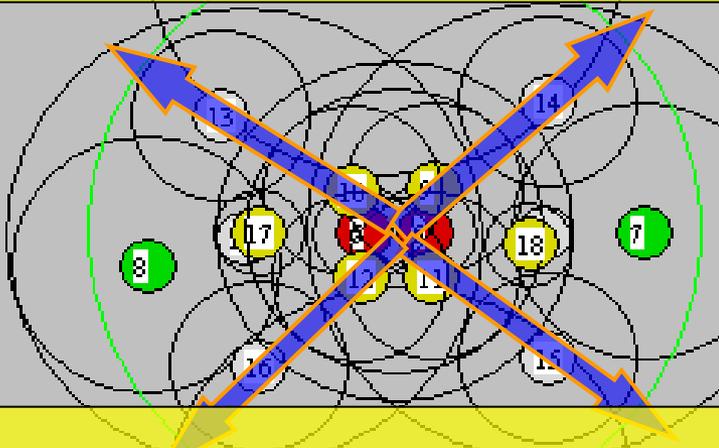
$A(t) = \text{const}$



Моделирование цветка *Arabidopsis thaliana* (wild type)



5. Поворот плодолистиков осуществляется при запаздывании их разметки



6. Изменение положения тычинок является прямым следствием изменения положения плодолистиков.

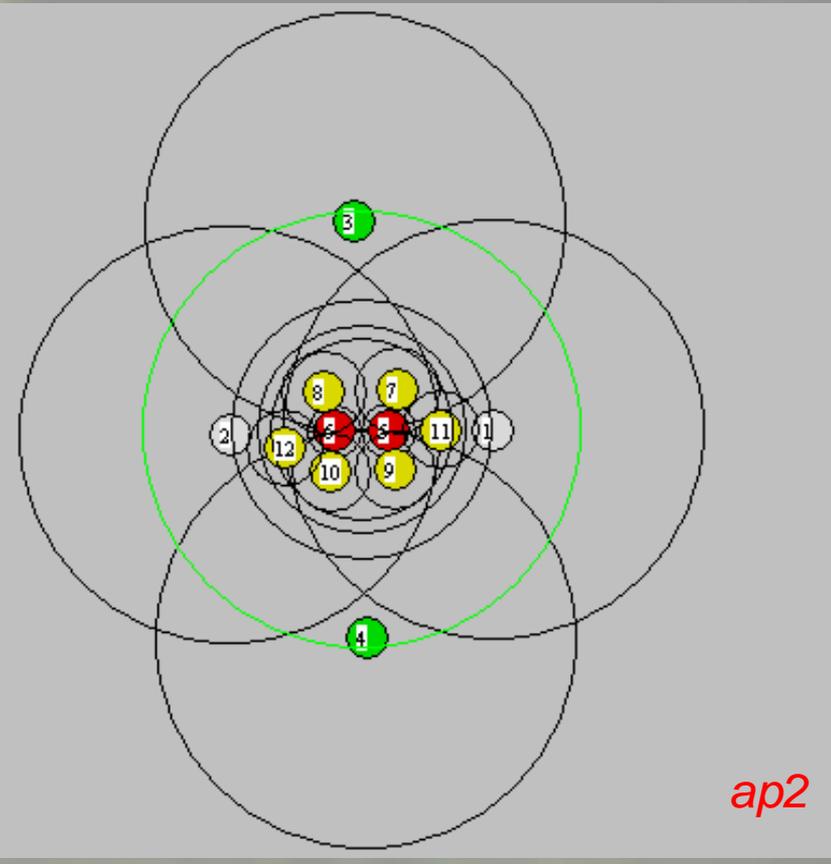
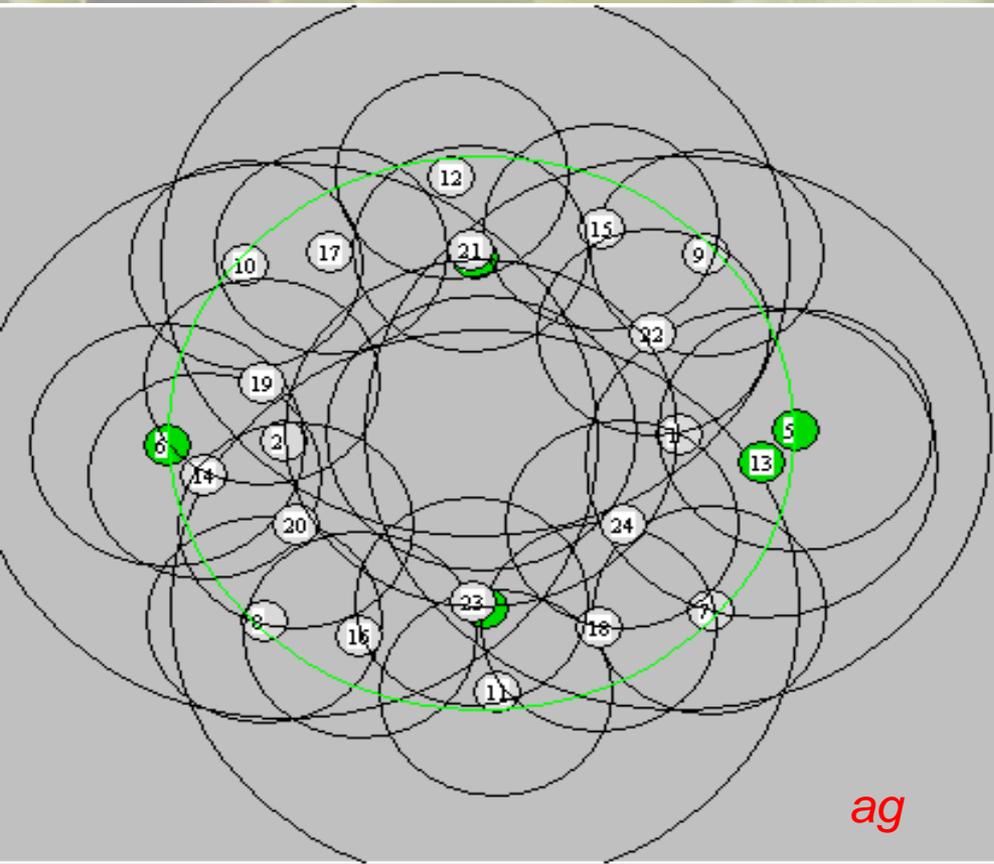
1. Размер зон ингибирующего влияния у латеральных чашелистиков меньше, чем у адаксиального/абаксиального чашелистика.

2. Это приводит к появлению четырех локальных минимумов для 4 лепестков, причем углы обычно отличаются от 45° .

3. Зоны влияния плодолистиков образуют четыре минимума для посадки длинных тычинок. Уменьшение размера меристемы приводит к сближению и слиянию тычинок, а увеличение – к образованию комплексов из трех тычинок.

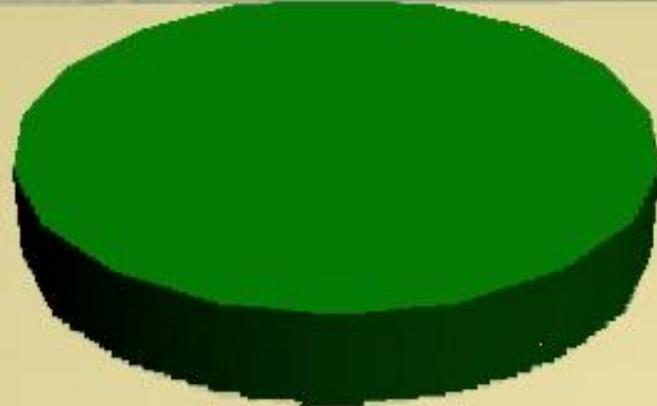
4. Положение коротких тычинок однозначно определяется локальными минимумами цветка.

Моделирование мутантов *agamous* и *apetala2*



The MOD

d by © V.V. Choob
FLOWER



The background of the slide is a close-up photograph of the flowers and leaves of Rheum rhabarbarum L. The leaves are large, green, and have a distinctively crinkled or lobed texture. The flowers are small, numerous, and arranged in dense, upright clusters (racemes) that appear pale yellow or cream-colored. The lighting is bright, highlighting the textures of both the leaves and the flower clusters.

**Математическое моделирование
структуры цветка
Rheum rhabarbarum L. и
изучение его изменчивости**

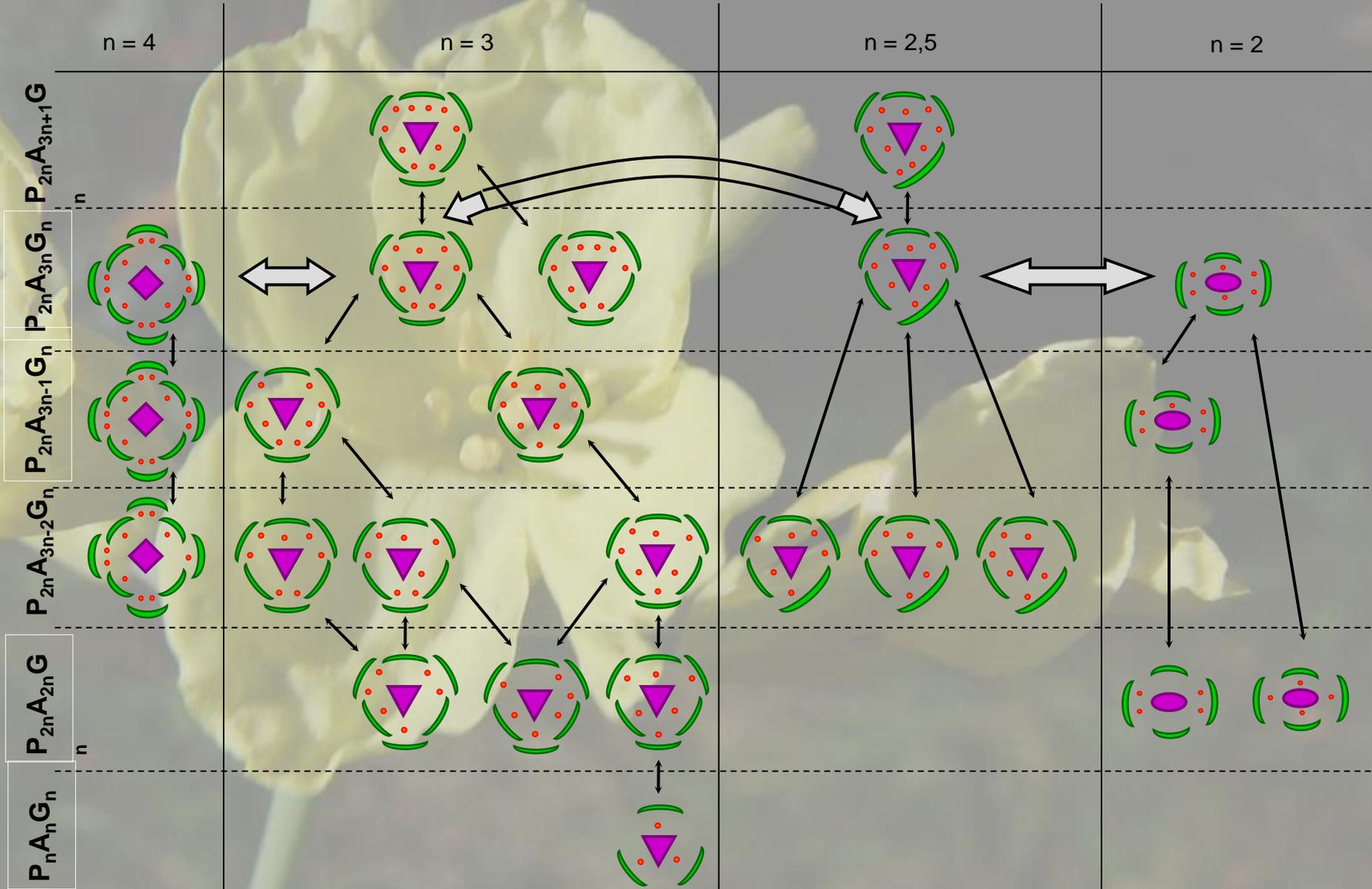
М.С. Лёвина, Д.Р. Слосинова

Научные руководители: В.В. Чуб, О.В. Юрцева

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, биологический факультет
каф. физиологии растений, каф. высших растений

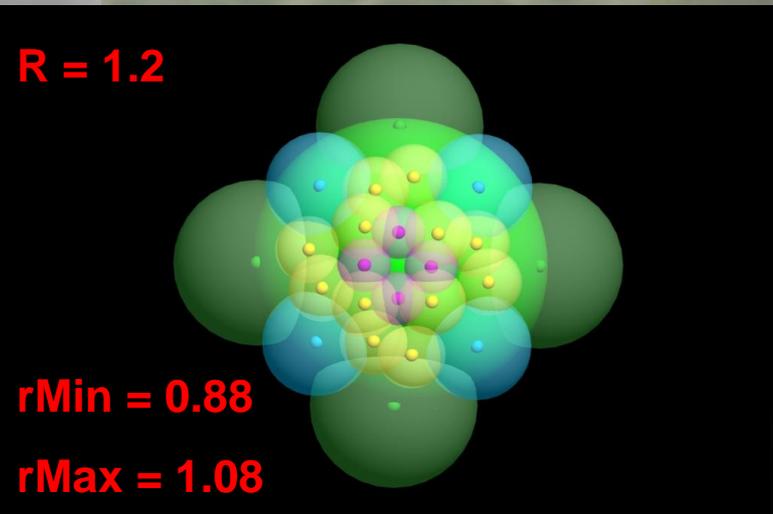
Московская гимназия на Юго-Западе №1543

Пути преобразования цветков *Rheum rhabarbarum* L.: по мерности и полноте

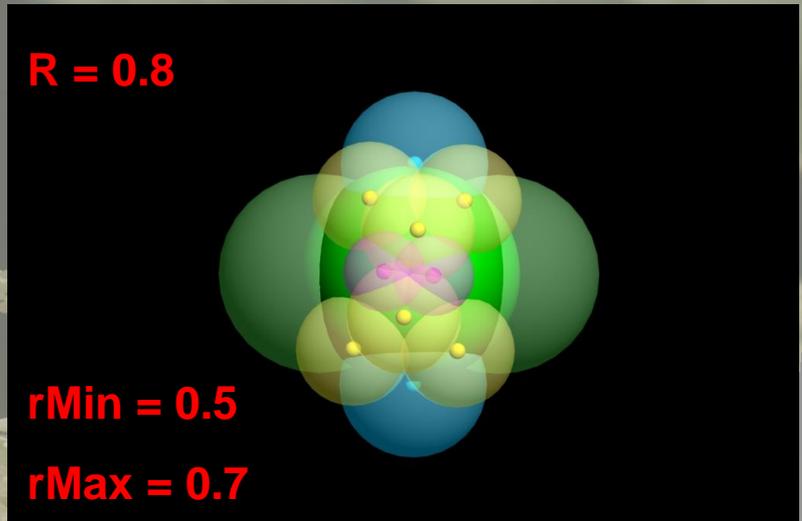


Полученные путем моделирования объемные изображения цветков (вид сверху)

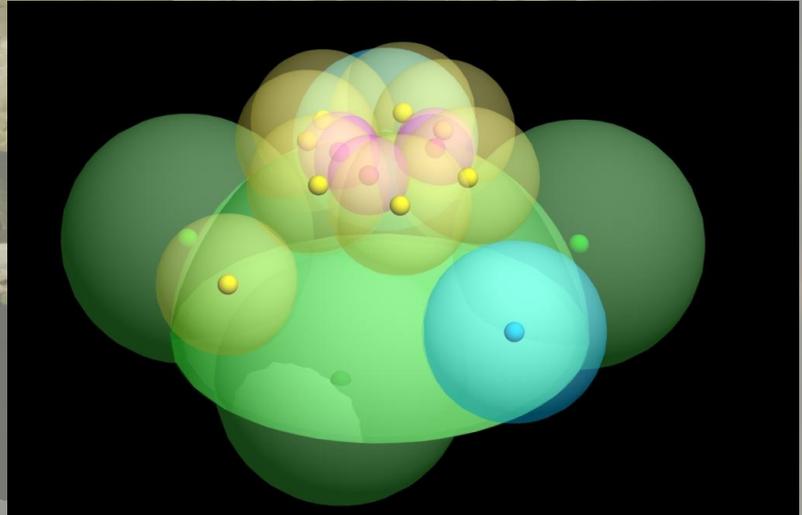
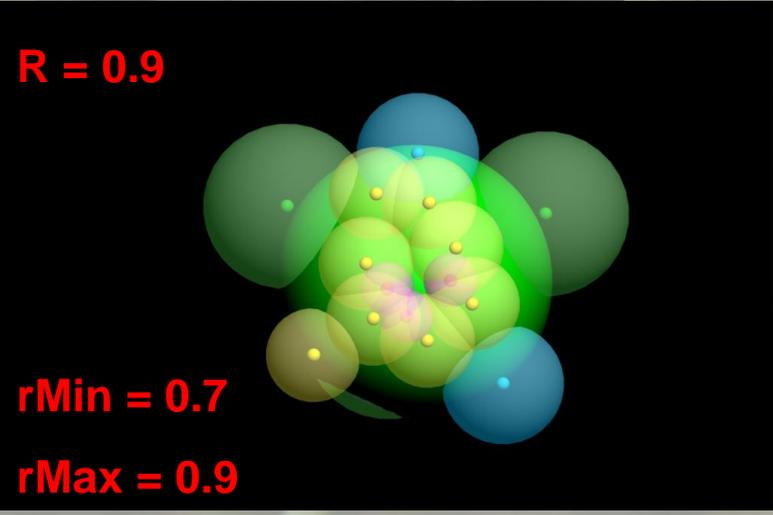
Типичный тетрамерный цветок



Типичный димерный цветок



Типичный 2,5-мерный цветок





Участники проекта

Скрябин К.Г., Шульга О.А. –
Институт сельскохозяйственной
биотехнологии

Шестаков С.В., Ежова Т.А.,
Пенин А.А.,
Солдатова О.П., Лебедева О.В.
каф. генетики, Биологический ф-т МГУ

Чуб В.В. – каф. физиологии растений,
Биологический ф-т МГУ

Кудрявцев В.Б., Козлов В.Н.,
Алексеев Д.В., Носов М.В.
Механико-математический
факультет МГУ

Работа поддержана грантами
№01-01-19191 и №03-04-06912.

Спасибо за внимание!
Thank you!

