

КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



2025г.

# Тема № 11

## Основные принципы сравнительной анатомии. Преобразование органов в филогенезе

лекция

Тяпкина Оксана Викторовна

к.б.н., доцент кафедры  
медицинской биологии и генетики  
КГМУ

## ПЛАН

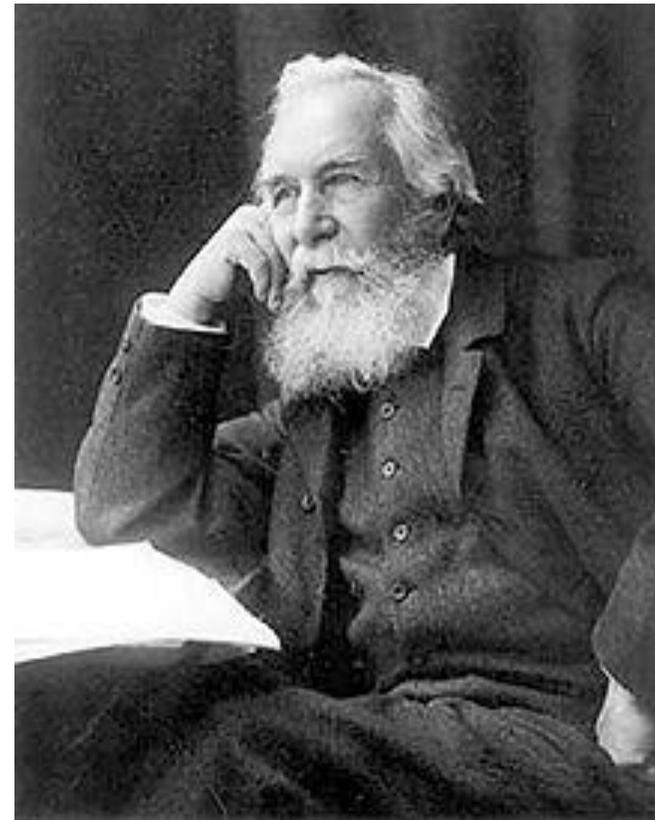
1. Основные принципы сравнительной анатомии.
2. Категории сходства.
3. Способы преобразования органов в филогенезе.

**Филогенез** - историческое развитие видов и других таксонов. Одной из ведущих задач современного эволюционного учения является изучение путей и закономерностей эволюционного процесса.

Все существующие в настоящее время организмы связаны между собой историческим родством. Развитие (эволюция) организмов осуществляется посредством развития приспособлений (адаптаций) к изменяющимся условиям окружающей среды, следовательно, эволюционные изменения органов и систем носят адаптивный характер. Строение и функции современных организмов являются результатом длительных эволюционных изменений структур и функций предковых форм.



Сравнение зародышей позвоночных на разных стадиях эмбрионального развития. Иллюстрация из работы **Эрнста Геккеля**, на которой демонстрируется теория **рекапитуляции** (повторения филогенеза в онтогенезе). Зародыши обычно действительно представляются более сходными между собой, чем взрослые организмы, что было отмечено эмбриологами ещё до возникновения теории эволюции. Эти рисунки иллюстрируют **Биогенетический закон**, сформулированный Мюллером в 1864 году и затем переформулированный Геккелем в 1866 году в виде «*Онтогенез есть рекапитуляция филогенеза*». На данных рисунках изображены зародыши восьми видов позвоночных на ранних стадиях развития. Иллюстрации подтверждают тезис о том, что развитие зародыша повторяет стадии развития предков.



**Эрнст Генрих Филипп Август Геккель**  
*Ernst Heinrich Philipp August Haeckel*  
1834—1919

Немецкий естествоиспытатель и философ.  
Автор терминов питекантроп, **филогенез**,  
**онтогенез** и экология.



Считается, что  
основы сравнительной анатомии  
были заложены Аристотелем.

**Аристóтель** др.-греч. Ἀριστοτέλης;  
384 год до н. э. — 322 год до н. э.  
древнегреческий философ



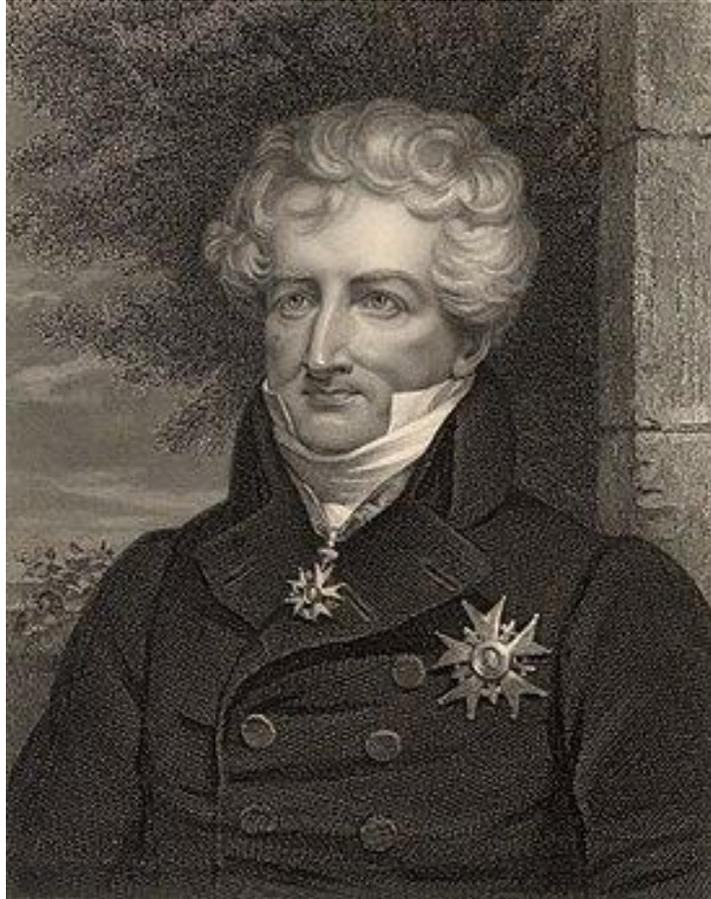
В XVII веке одним из наиболее ранних трактатов, посвященных сравнительной анатомии, рассматривают «Демокритова зоотомия» (1645) итальянского анатома и зоолога М. А. Северино.

**Марко Аурелио Северино**

*Marco Aurelio Severino*

(1580—1656)

итальянский хирург, анатом и зоолог



**Жорж Леопольд де Кювье́**, барон  
*Jean Léopold Nicolas Frédéric Cuvier*  
(1769—1832)

французский естествоиспытатель, на-  
туралист

В начале XIX века Жорж Кювье обобщил накопленные материалы в пятитомной монографии «Лекции по сравнительной анатомии», опубликованной в 1800—1805 годах. Считается основателем сравнительной анатомии и палеонтологии. Важное значение имели исследования Кювье над ископаемыми позвоночными, в которых он с большим успехом применял принципы сравнительной анатомии. В 1812 году он издал «Recherches sur les ossements fossiles» (4-ое издание в 12 томах в 1830—1837 годах).



**Карл Эрнст Риттер фон Бэр Эдлер фон Хутхорн**

*(Karl Ernst Ritter von Baer Edler von Huthorn*

**Карл Макси́мович Бэр** 17 [28] февраля 1792 —

16 [28] ноября 1876)

российский естествоиспытатель

В области сравнительной анатомии работал Карл Бэр, установивший закон сходства зародышей. один из основоположников эмбриологии и сравнительной анатомии.

Карл Бэр в своих трудах по эмбриологии сформулировал закономерности, которые позднее были названы «законами Бэра»:

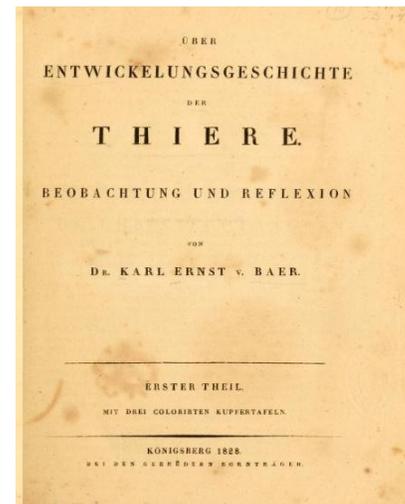
1. Наиболее общие признаки любой крупной группы животных появляются у зародыша раньше, чем менее общие признаки.

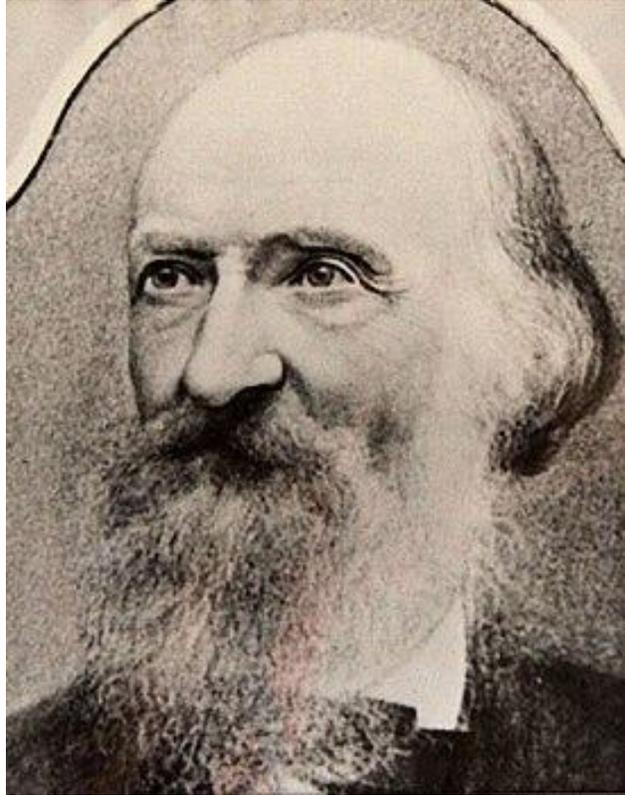
2. После формирования самых общих признаков появляются менее общие и так до появления особых признаков, свойственных данной группе.

3. Зародыш любого вида животных по мере развития становится всё менее похожим на зародыш других видов и не проходит через поздние стадии их развития.

4. Зародыш высокоорганизованного вида может обладать сходством с зародышем более примитивного вида, но никогда не бывает похож на взрослую форму этого вида.

«История развития животных» («Über die Entwicklungsgeschichte der Thiere», 1828; 1837);





**Фриц Мюллер**

*Fritz Müller*

(1822—1897)

немецкий естествоиспытатель,  
зоолог

В области сравнительной анатомии были опубликованы работы Мюллера и Эрнста Геккеля, разработавших учение о рекапитуляции органов в онтогенезе — Биогенетический закон.

Научные исследования Мюллера касаются преимущественно дарвинизма, биологии, филогении низших животных и растений, симбиоза. Главнейший его труд: «Für Darwin» (заклучает в себе великолепное описание истории развития ракообразных, 1864); в этом труде Мюллер впервые ясно изложил основной так называемый биогенетический закон. Прочие работы Мюллера касаются анатомии и эмбриологии низших морских животных, взаимных отношений насекомых и цветов и т. д.



**Аристотель** др.-греч. Ἀριστοτέλης;  
384 год до н. э. — 322 год до н. э.  
древнегреческий философ.

Геккель был одним из первых германских зоологов, поддержавших теорию Дарвина. Опираясь на эту теорию и на данные эмбриологии, Геккель сделал попытку дать рациональную систему животного царства, основанную на [филогенезе](#) животных. Особенное внимание обратил Геккель на важное значение истории развития индивидуального, или онтогенеза, для вопроса о происхождении самого вида или его филогении. Исходной точкой для взглядов Геккеля послужила стадия эмбрионального развития, названная Геккелем [гастролой](#). Геккель полагал, что эта стадия повторяет собой общего прародителя всех [животных](#). Этого предполагаемого прародителя Геккель назвал гастреей и старался объяснить, каким образом из неё развились различные типы животного царства. Учение о гастрее позднее было признано ошибочным.

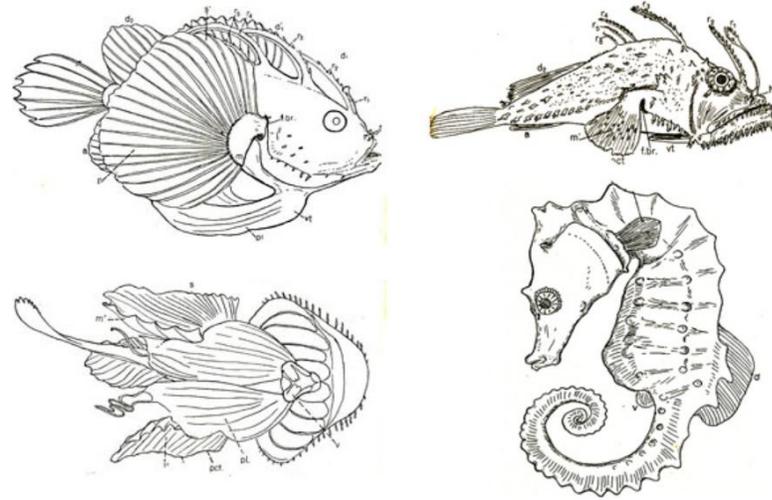
1866 году вышла его книга «Общая морфология организмов» («*Generelle Morphologie der Organismen*»). Спустя два года появилась «Естественная история миротворения» («*Natürliche Schöpfungsgeschichte*»; русский перевод [1914 года](#)), где развиваемый им [эволюционный](#) подход излагался в более популярной форме, а в 1874 году Геккель опубликовал работу «Антропогенез», или «История развития человека» («*Anthropogenie*», или «*Entwicklungsgeschichte des Menschen*»; русский перевод 1919 года) — первое в истории всестороннее исследование, в котором обсуждались проблемы эволюции человека.

Геккель разработал теорию происхождения многоклеточных (так называемая [теория гастрей](#)) ([1866](#)), сформулировал [биогенетический закон](#), согласно которому в индивидуальном развитии [организма](#) как бы воспроизводятся основные этапы его эволюции, построил первое [генеалогическое древо](#) животного царства.

Теория гастреи принесла ему известность и признавалась большинством учёных до сравнительно недавнего времени. В настоящее время эволюционисты, наряду с теорией гастролы, рассматривают как хорошо обоснованную теорию фагоцителлы, предложенную [И. И. Мечниковым](#) в 1879—1886 годах, а также теорию [синзооспоры](#) и первичной седентарности многоклеточных, разработанную [А. А. Захваткиным](#), и другие.



**Алексей Николаевич Северцов**  
(11 [23] сентября 1866 — 19 декабря 1936)  
русский биолог, основоположник  
эволюционной морфологии животных.  
Академик Российской академии  
наук (1920), создатель русской  
школы морфологов-эволюционистов. Его  
именем назван Институт эволюционной  
морфологии и экологии животных



Рисунки препаратов, выполненные  
А. Н. Северцовым

Разработал теорию о четырёх типах  
эволюционного процесса:

**ароморфоз, идиоадаптация, ценогенез,  
общая дегенерация.**

Считал, что единственной причиной  
филогенетических изменений является  
изменение среды. Предложил  
понятие **мультифункциональности органов.**

Применив **сравнительно-эмбриологический метод** исследования, Северцов А. Н. собрал ценный фактический материал по историческому развитию позвоночных животных и обосновал гипотезу происхождения **низших позвоночных**. Дал ряд теоретических обобщений: наиболее известна его **теория филэмбриогенезов**, согласно которой изменения органов, происходящие в **эмбриональном развитии**, являются причиной изменения этих органов у взрослых животных в процессе их эволюции.

Разработал теорию о четырёх типах эволюционного процесса: **ароморфоз, идиоадаптация, ценогенез, общая дегенерация**. Считал, что единственной причиной филогенетических изменений является изменение среды. Предложил понятие **мультифункциональности органов**.



ШМАЛЬГАУЗЕ Иван Иванович

23.04.1884 – 07.10.1963

Зоолог, эмбриолог, эволюционист,

Автор книг по эволюционной  
теории, биологии развития,  
применению кибернетики в  
биологии.

Иван Иванович Шмальгаузен, исследовал развитие конечностей у амфибий и его работа тесно смыкалась с исследованиями Северцова по изучению строения пятипалой конечности геккона. Монография о развитии мускулатуры, нервов и скелета конечностей рептилий вышла в бюллетене Московского общества испытателей природы лишь в 1908 г.

Академик И.И Шмальгаузен писал: «В начале нашего века казалось бесспорным, что морфология сама себя изжила - это законченная наука, почти завершенное здание, которое остается лишь доделать в деталях и отшлифовать. Однако работы А.Н. Северцова пролили свет и открыли перспективы дальнейших морфологических исследований. После кризиса мы стоим перед новым расцветом морфологии. Северцов оставил после себя многочисленных, вполне зрелых учеников...на них лежит дальнейшая разработка проблем эволюционной морфологии» .

# Схема кибернетического подхода И.И. Шмальгаузена.

Шмальгаузен, развивая концепцию эволюции онтогенеза и целостности организма в онто- и филогенезе (1982), вписал генотип в общую схему регуляторных эволюционных механизмов (кибернетический подход Шмальгаузена (1968)).



В строении организмов имеется два вида сходств:

**аналогия** (аналогичные органы) и

**гомология** (гомологичные органы).

О природе сходства судят согласно 3 положений:

1. Источник развития органа (эмбриональный зачаток).
2. Строение органа.
3. Функция органа.

## Аналогичные органы

развиваются из разных эмбриональных зачатков, в строении их имеется только внешнее сходство, которое связано с выполнением сходной функции.

Эти органы возникли в результате **конвергентной эволюции**, то есть предки этих животных не похожи, но теперь они развиваются в той же экологической нише, что и другие животные. Когда неродственные организмы образуют родственную биологическую характеристику, это называется конвергентной эволюцией.

Поэтому такой тип эволюции двух или более животных, при котором у них нет общего предка и, следовательно, у них разная анатомия частей тела/органов, но есть общая экологическая ниша, приводящая к сходству их использования, называется конвергентной эволюцией и эти типы органов называются аналогичными органами.

Аналогичные органы определяются как органы разных животных, имеющие разную анатомию, но выполняющие одну и ту же функцию. Эти животные имеют разное происхождение и разных предков.

# Аналогичные органы

## Примеры аналогичных органов:

1. Крылья бабочки, летучей мыши и птиц.
2. Глаз осьминога и млекопитающего.
3. Ласты пингвина и дельфина.
4. Сладкий картофель и картофель.
5. Кактус и Молочай.
6. Пираканта (огненный шип) и барбарис (барбарис).

# Аналогичные органы

## 1. Крылья бабочки, летучей мыши птицы



Все эти три органа различны по своему строению. Крылья насекомых, впрочем, как и у бабочки, являются продолжением их покровов, а крылья летучих мышей — в основном складчатой кожей вместе с их удлиненными пальцами. Крылья птиц состоят из костей, покрытых перьями. Следовательно, все три органа различны по своему строению, но все они используются для одной общей функции — полета.

## Аналогичные органы

развиваются из разных эмбриональных зачатков, в строении их имеется только внешнее сходство, которое связано с выполнением сходной функции.

Бабочка вида *Aglais io* (павлиний



Грифон Стервятник Рубелла.



Большой листонос в руках исследователя.  
Эта летучая мышь считается самым крупным рукокрылым в обеих Америках.



# Аналогичные органы

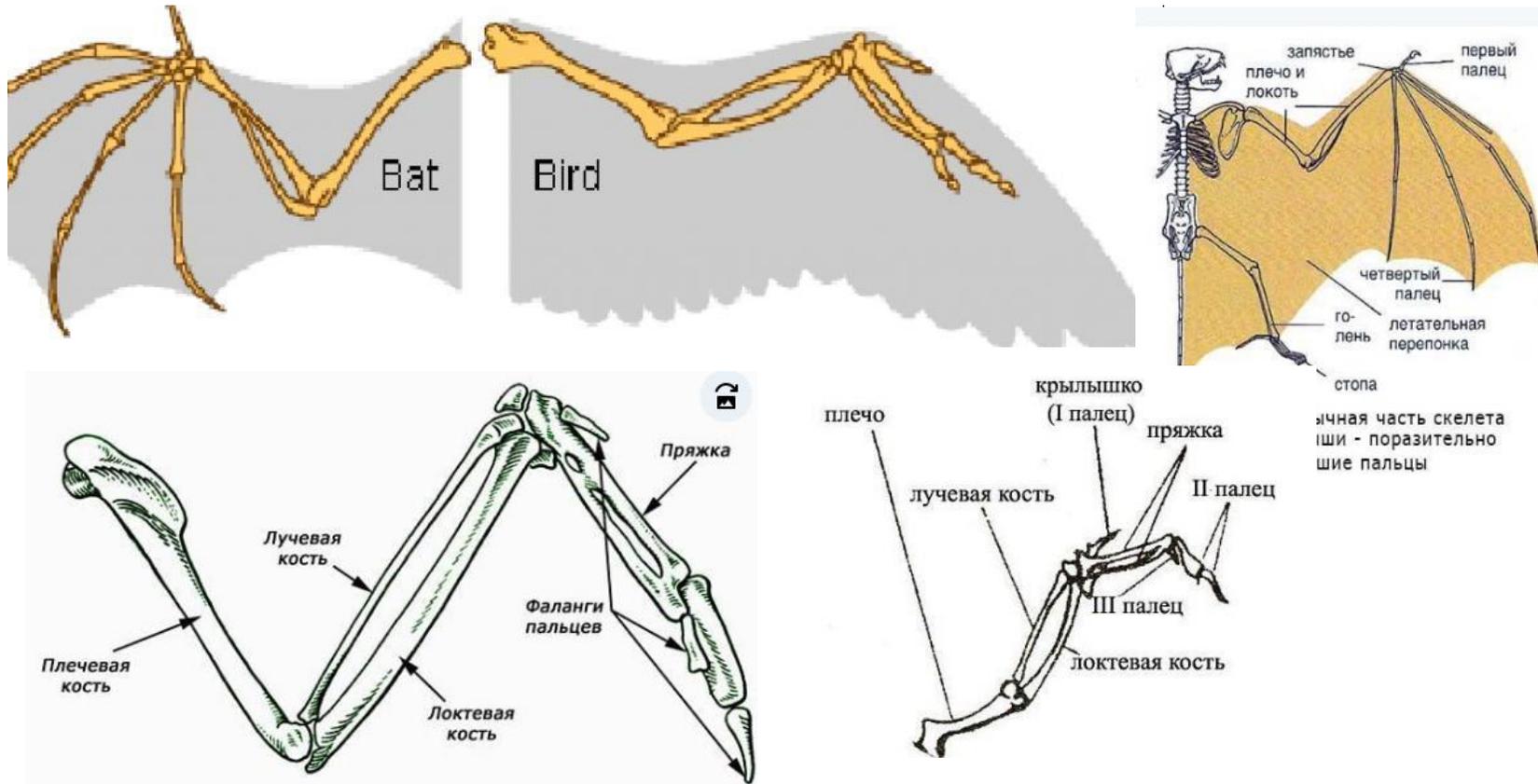


Крылья летучих мышей это преобразованные передние конечности, включающие предплечье и сильно удлинённые пальцевые элементы, между которыми и задними конечностями натянута крыловая перепонка. Между задними конечностями и хвостом обычно натянута межбедренная перепонка, иногда дополнительно поддерживаемая шпорами.



# Аналогичные органы

1. Крыло птицы покрыто перьями, крыло летучей мыши кожистое
2. Кости кисти у птиц срослись, у летучей мыши кости кисти не срастаются и образуют ребра жесткости крыла, между которыми натянута кожистая перепонка
3. Часть пальцев у птиц редуцирована, осталось только три пальца, у летучей мыши кости пальцев удлинены
4. Ребро жесткости у птиц образуют стержни перьев, у птиц - кости пальцев

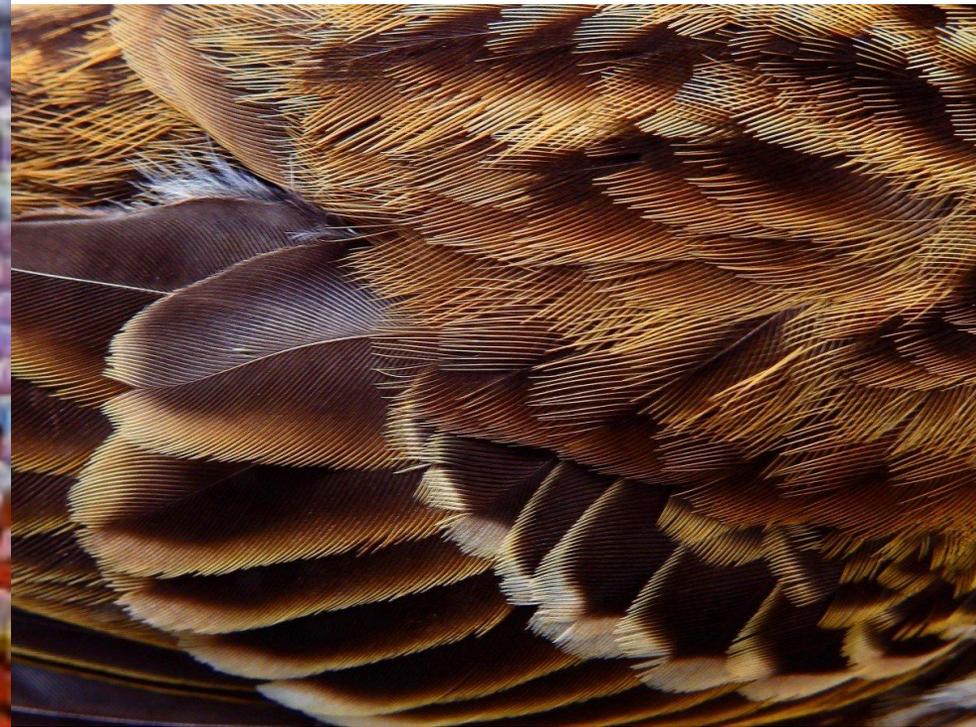


# Аналогичные органы

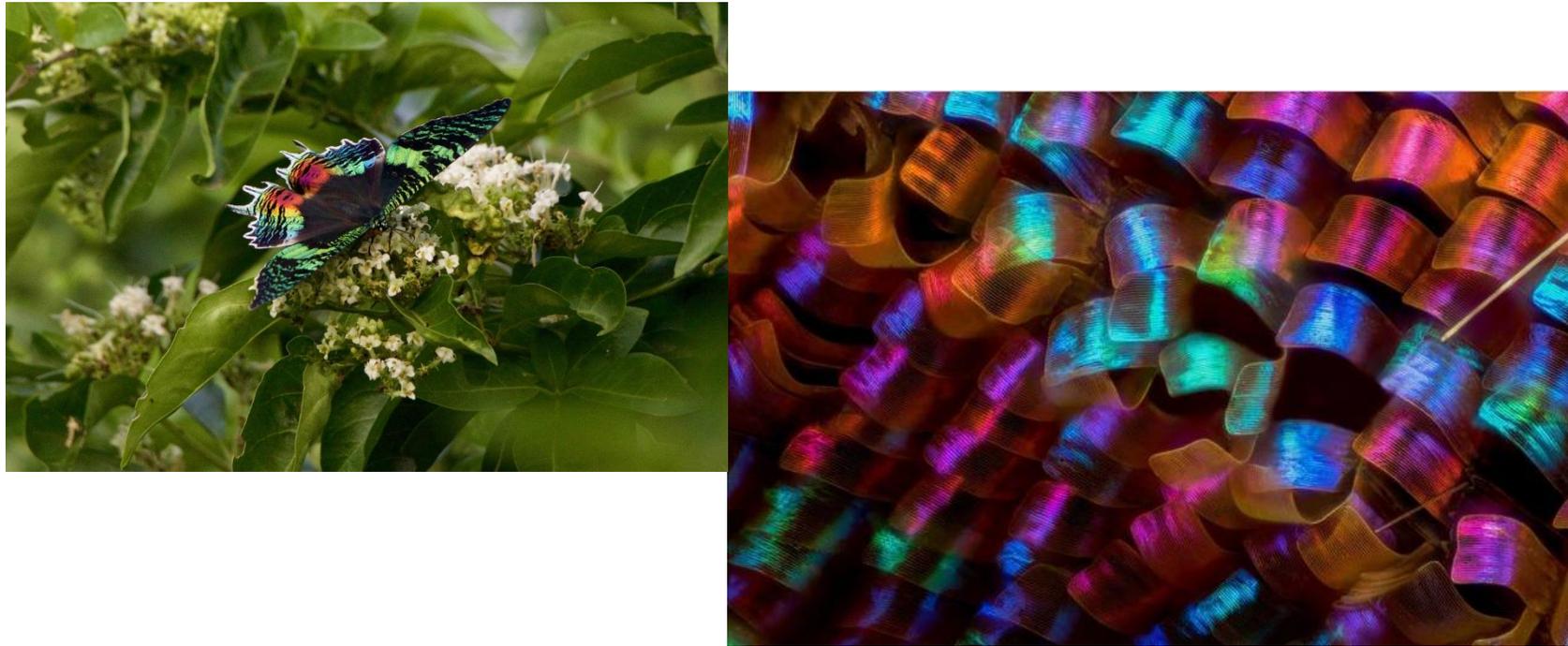
Бабочка вида *Aglais io* (павлиний глаз) и ее крыло под микроскопом.



Грифон Стервятник Рубелла.



Крыло бабочки (выросты эктодермы) и крыло птицы (сложная конструкция, включающая все типы тканей, развивающиеся из разных зародышевых листков). Эти органы имеют внешнее сходство, т. к. выполняют одинаковую функцию поддержания тела в воздухе (функция полета).



Чешуйки на поверхности крыла бабочки урании мадагаскарской (*Chrysiroidia (Urania) girpheus*), снятые при двадцатикратном увеличении. Сложная форма и взаимное расположение чешуек обеспечивает яркую и разнообразную окраску крыльев этой бабочки.

[https://elementy.ru/kartinka\\_dnya/827/Cheshuyki\\_kryla\\_babochki\\_uranii](https://elementy.ru/kartinka_dnya/827/Cheshuyki_kryla_babochki_uranii)

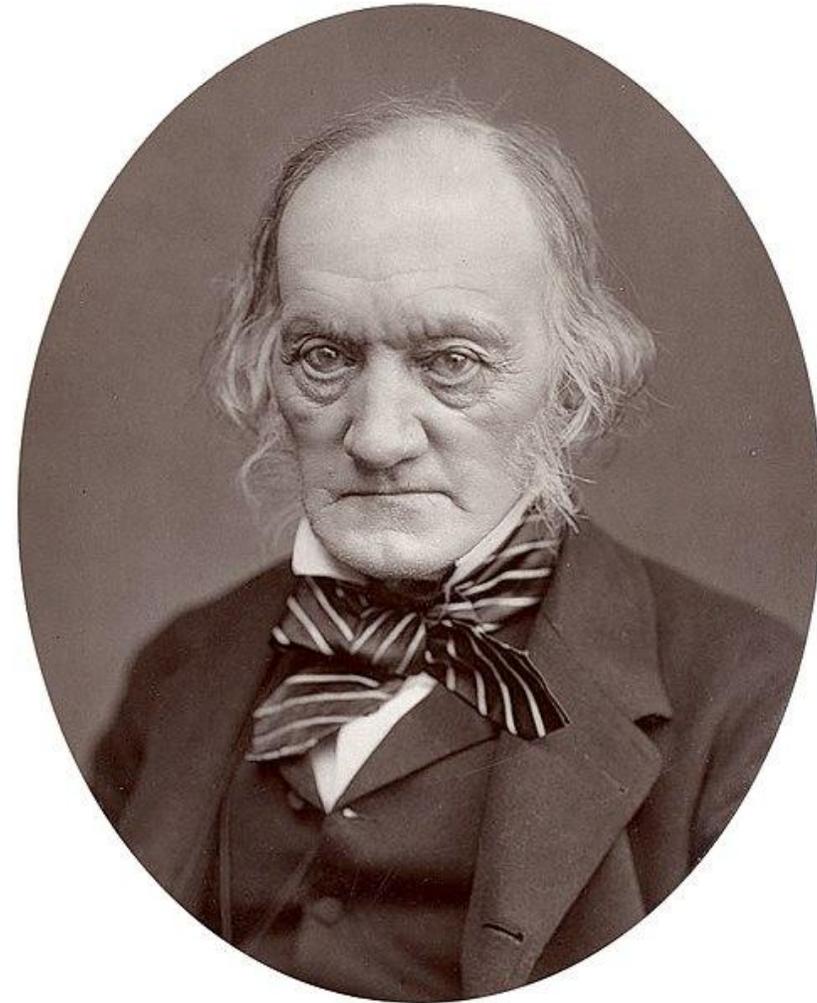
**Ричард Оуэн** уточнил понятие аналогии как функциональное подобие, противоположное гомологии.

Им было введено понятие гомологии в биологии в 1840-е гг., не ставившего задачи решения **филогенетических** проблем. Он предложил различить аналогичные:

«...a part or organ in one animal that has the same function as another part or organ in a different animal...» [часть или орган животного, который имеет ту же самую функцию, что и другая часть или орган у иного животного]

и **гомологичные структуры**:

«the same organ in different animals under every variety of form and function...» [тот же самый орган в различных животных при всех вариациях формы и функции].



**Сэр Ричард Оуэн**

*Richard Owen*

(20.07.1804 — 18.12.892)

английский зоолог и палеонтолог.  
Признан как преемник линнеевских традиций в современной биологии.

**Гомологичные органы** развиваются из одинаковых эмбриональных зачатков, имеют сходные элементы внутреннего строения, одинаковое расположение по отношению к другим частям тела. Строение гомологичных органов может быть одинаковым или различным в зависимости от того, сходную или различную функцию они выполняют.

## Гомологичные органы

Гомологичными считаются органы, состоящие из сходных и сходным образом расположенных относительно друг друга частей (пример — расположение костей в конечности позвоночных). Этот критерий в сущности совпадает со вторым критерием Ремане.

**Критерий развития.** Гомологичными считаются органы, сходным образом развивающиеся из одинаковых эмбриональных зачатков.

**Генетический критерий.** Гомологичными считаются структуры, в основе развития которых лежит одна и та же генетическая программа (система взаимодействующих генов), унаследованная от общих предков.

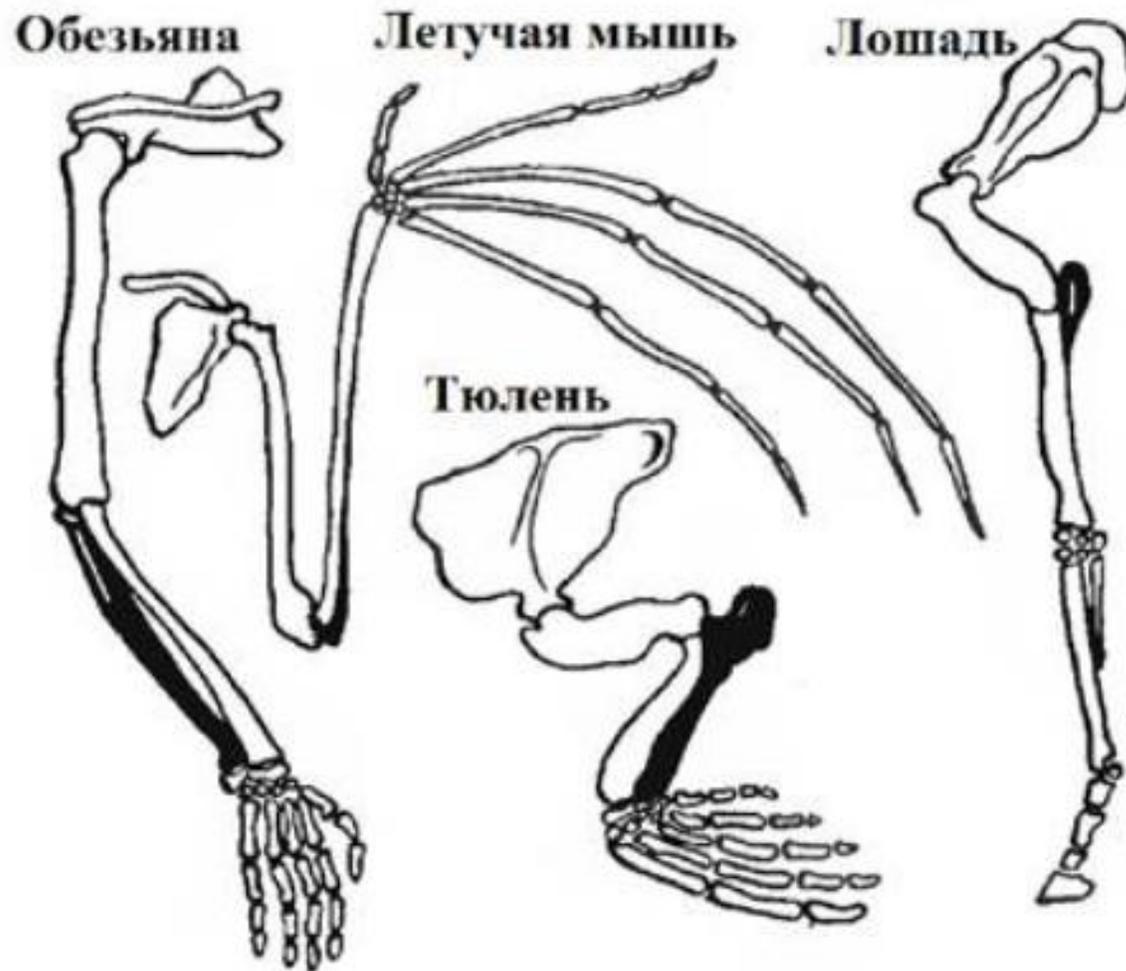
## Гомологичные органы

Гомологичными считаются органы, состоящие из сходных и сходным образом расположенных относительно друг друга частей (пример — расположение костей в конечности позвоночных). Этот критерий в сущности совпадает со вторым критерием Ремане.

**Критерий развития.** Гомологичными считаются органы, сходным образом развивающиеся из одинаковых эмбриональных зачатков.

**Генетический критерий.** Гомологичными считаются структуры, в основе развития которых лежит одна и та же генетическая программа (система взаимодействующих генов), унаследованная от общих предков.

# Гомологичные органы



## Гомологи:

Одно происхождение

Разные функции

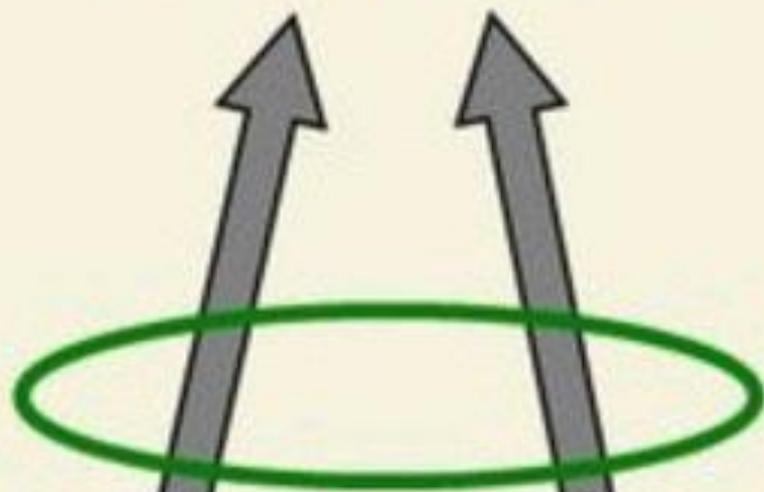


Родственные виды

## Аналоги:

Разное происхождение

Одна функция



Неродственные виды

Признаки	Гомологичные органы	Аналогичные органы
Строение	часто различны по строению	имеют схожее строение
Происхождение	имеют общий зародышевый источник	происходят из различных зародышевых источников
Функции	могут быть и разными, и схожими	одинаковые
Причина появления	приспособление к различным условиям существования	приспособления к похожим условиям существования

<p><b>Аналоги (различное происхождение, но схожие функции)</b></p>	<p><b>Гомологи (разные/одинаковые функции, но одинаковое происхождение)</b></p>
<p><b>У животных:</b></p> <p>глаз зайца и глаз пчелы  глаз человека и глаз осьминога  крыло бабочки и крыло птицы  крыло бабочки и крыло летучей мыши</p> <p>шерсть собаки и шерстинки шмеля  спинной плавник окуня и ласт кита  крылья воробья и крылья саранчи  роющие конечности крота и медведки  усы таракана и рыбы сома  обтекаемая форма головы акулы и дельфина  плавники карпа и ласты морского котика  образованные из наружных покровов жабры ракообразных и образованные из внутреннего скелета жабры рыб</p>	<p><b>У животных:</b></p> <p>клешни рака и ногочелюсти паука (видоизмененные конечности)  предплечье лягушки и курицы  ноги мыши и крылья летучей мыши</p> <p>волосы человека и шерсть собаки  <u>ласт кита и крыло птицы</u>  <u>чешуя ящерицы и перо птицы</u>  <u>зубы акулы и кошки (^)</u>  нос обезьяны и хобот слона  слуховые косточки среднего уха пресмыкающихся и человека  рука человека и нога лошади  <u>роговая чешуя ящерицы и панцирь черепахи</u>  нижняя челюсть человека и собаки  крыло совы и крыло летучей мыши  конечность лошади и конечность крота</p>

### У растений:

колючки барбариса (лист) и выросты  
стебля у ежевики  
усики гороха (листья) и усики  
винограда (побег)  
клубень картофеля и корнеплод  
моркови  
шипы розы (стебель) и кактуса  
(листья)  
шип аналогичен колючкам, иголкам  
корнеплоды и корнеклубни -  
видоизмененные корни, они будут  
аналогичны любым видоизменённым  
побегам, например, клубням,  
луковицам, корневищам

### У растений:

плодолистики и прицветники  
листья и тычинки цветка  
плодолистик и мегаспорофилл  
растения  
шишка ели и стробил хвоща  
усы гороха и листья рябины  
усы гороха и листья паслена  
лепестки розы и листья капусты  
подземные и воздушные корни  
растений  
луковица тюльпана и клубень  
картофеля  
пестики, тычинки, лепестки цветка  
все шипы (розы, шиповника,  
крыжовника и тд)  
колючки барбариса и кактуса, а  
также хвоинки

## **Принципы эволюции органов и систем**

В основе всех эволюционных изменений лежит принцип дифференцировки.

**Дифференцировка** - разделение единого целого на отдельные части с определенными функциями. Это приводит к усложнению строения и жизнедеятельности всего организма. С другой стороны, одна часть становится зависимой от другой (например, работа почек зависит от состояния сердечно-сосудистой системы). Чтобы организм мог существовать как единое целое, между его различными частями (органами, системами) должны существовать тесные связи.

Наряду с дифференцировкой идет процесс **интеграции** (объединения).

Возможность эволюционных изменений органов определяется двумя особенностями:

1. Мультифункциональностью органов (способность выполнять кроме какой-то главной функции и другие - второстепенные).
2. Количественными изменениями функции (одна и та же функция может осуществляться в разной степени у разных организмов, либо у одного и того же организма в разные периоды онтогенеза).

Изменение органа всегда приводит к изменению функции и наоборот, изменение функции приводит к изменению в строении органа.

Основные способы изменений органов и функций:

1. Смена функций.
2. Расширение функций.
3. Интенсификация функций.
4. Активация функций.
5. Иммобилизация органов.
6. Сужение функций.
7. Разделение функций.
8. Замещение (субституция) органов.
9. Замещение (субституция) функций.

Изменения, которые ведут к освоению новых функций, совершенствованию прежних, являются **прогрессивными**.

Уменьшение числа функций может сопровождаться общим ослаблением организма, при котором и главная функция теряет свое значение. Это регрессивное развитие.

Если функция органа остается хотя бы в незначительной степени, то орган сохраняется в виде рудимента. Когда функция утрачивается полностью - орган исчезает бесследно. Иногда рудиментарный орган развивается полностью, как у предковых форм - это атавизмы.

В ходе эволюции могут наблюдаться не только морфофункциональные изменения, но и изменение места закладки органа (гетеротопия), времени закладки органа (гетерохрония) и неодновременная скорость преобразования различных систем (гетеробатмия).

Организм представляет собой единое целое в структурном (морфологическом) и физиологическом отношении. Это результат согласованного (сочетанного, координированного) преобразования органов. Различают онтогенетические корреляции (сочетанное развитие органов и систем одного организма) и филогенетические корреляции (сочетанное развитие органов в эволюции). Механизмы коррелятивных изменений различны.



Спасибо за внимание!