

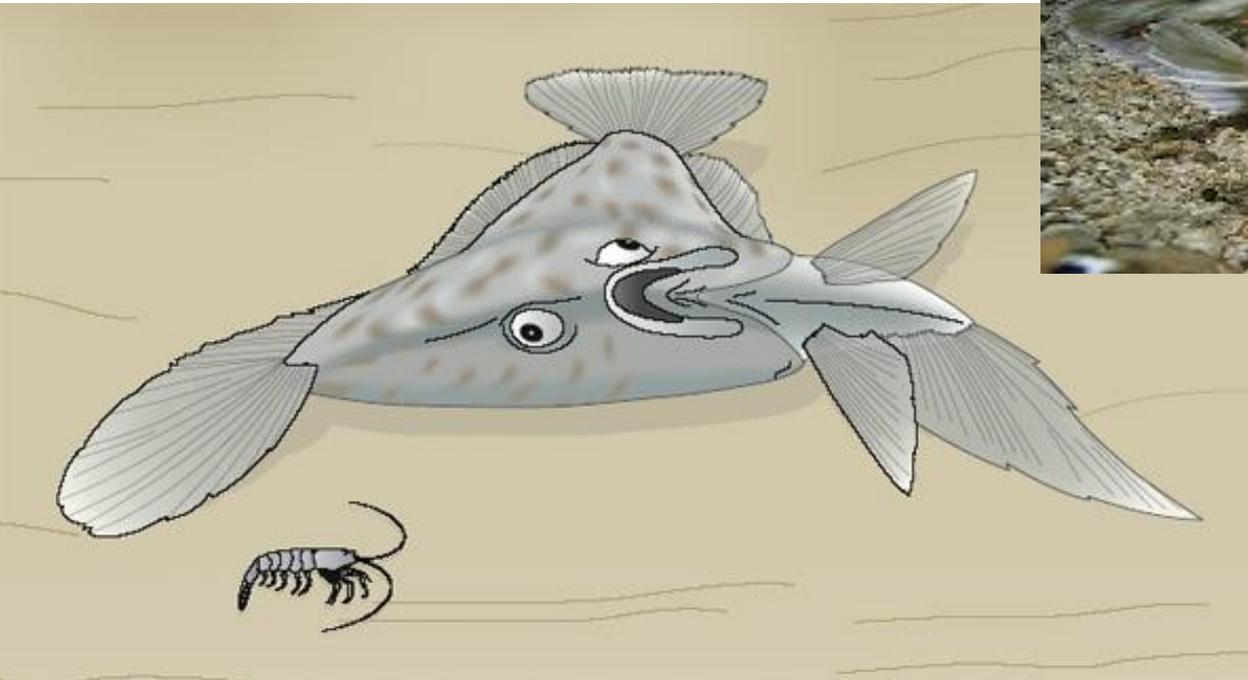
# Доказательства

## ЭВОЛЮЦИИ

Основные группы аргументов:

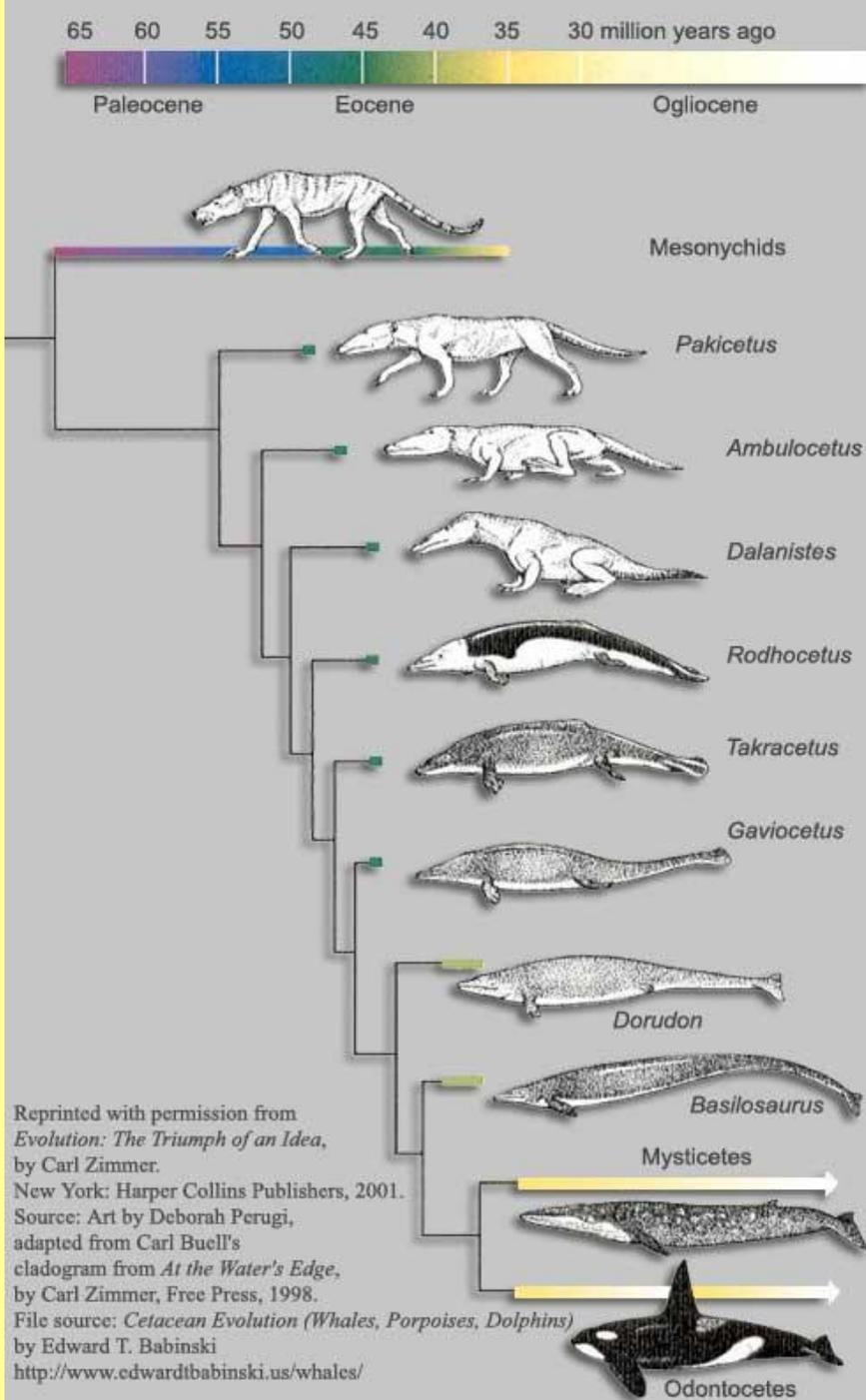
- 1. Наблюдаемая эволюция
- 2. ”Эволюционное дерево”
- 3. Палеонтологические доказательства
- 4. Морфологические доказательства
- 5. Эмбриологические доказательства
- 6. Молекулярно-генетические и

# Переходные формы находят и внутри небольшого таксона...



Излюбленным аргументом противников Дарвина с давних пор была кажущаяся неспособность его теории объяснить происхождение **камбалообразных рыб**. Утверждалось, что перемещение глаза с одной стороны головы на другую **не могло происходить постепенно**, потому что на начальных этапах эти изменения не приносили бы никакой пользы своим обладателям. Однако найденные в 2008 году в эоценовых (56 - 40 млн лет) отложениях Италии и Франции ископаемые переходные формы в очередной раз подтвердили правоту эволюционной теории: **глаза у этих рыб оказались именно в таком «невозможном» промежуточном положении...**

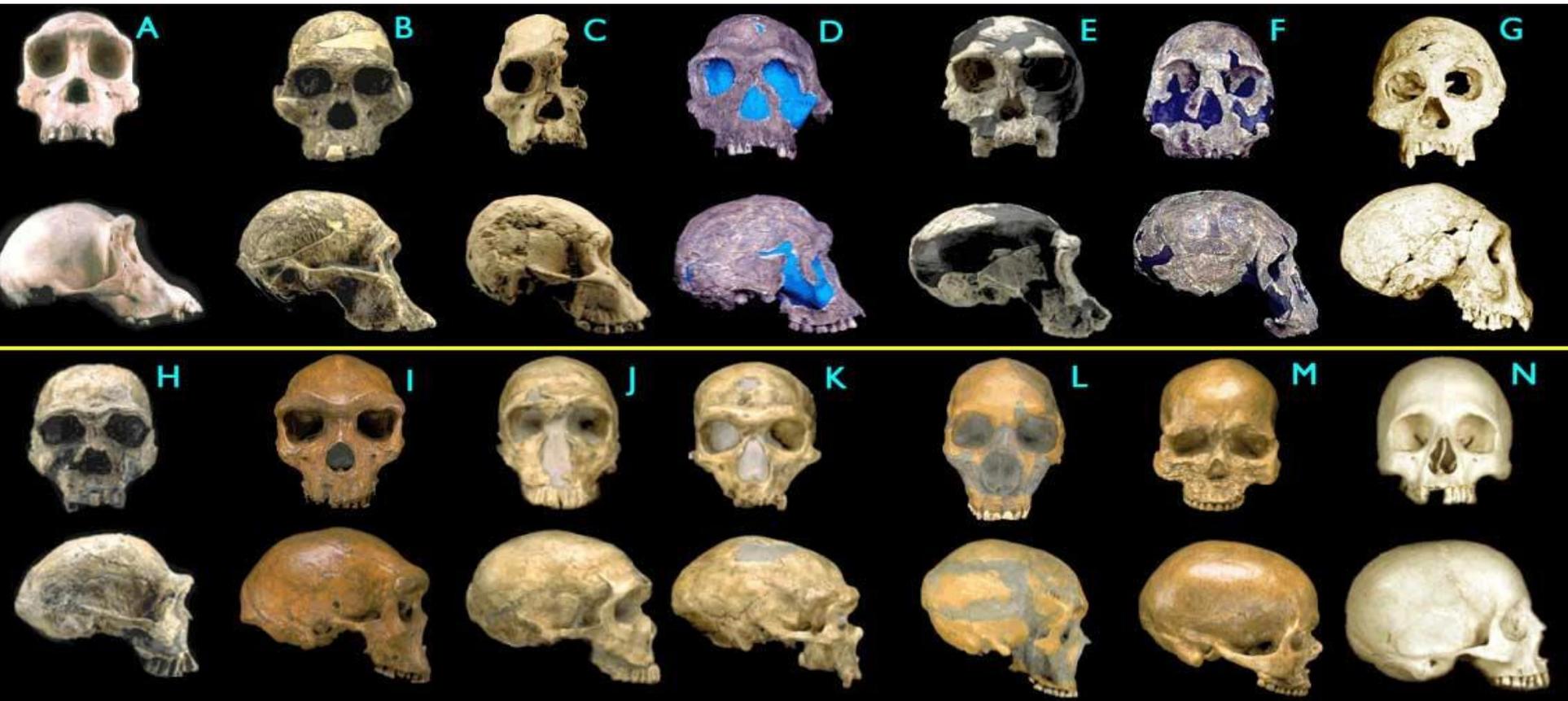
- ***В ряде других случаев, напротив, филогенетические ряды достаточно полны для восстановления всей картины эволюции (китообразные, лошади, человек).***



**Предки китов, общие с парнокопытными, постепенно приспособивались к жизни в море, заполняя экологическую нишу, которая освободилась после вымирания мозазавров и плезиозавров в конце мезозоя.**

Reprinted with permission from  
*Evolution: The Triumph of an Idea*,  
 by Carl Zimmer.  
 New York: Harper Collins Publishers, 2001.  
 Source: Art by Deborah Perugi,  
 adapted from Carl Buell's  
 cladogram from *At the Water's Edge*,  
 by Carl Zimmer, Free Press, 1998.  
 File source: *Cetacean Evolution (Whales, Porpoises, Dolphins)*  
 by Edward T. Babinski  
<http://www.edwardtbabinski.us/whales/>

**В ходе эволюции предков человека за 2.6 млн лет (от других гоминин до рода Номо и современного человека) наблюдался *сперва* переход к прямохождению, а *затем* к увеличению объема мозга.**



Австралопитеки (4—2 миллиона лет назад), объем мозга был около **400 см<sup>3</sup>**, как у шимпанзе

Человек умелый (*Homo habilis*) (2.4—1.4 млн лет назад) **500—640 см<sup>3</sup>**.

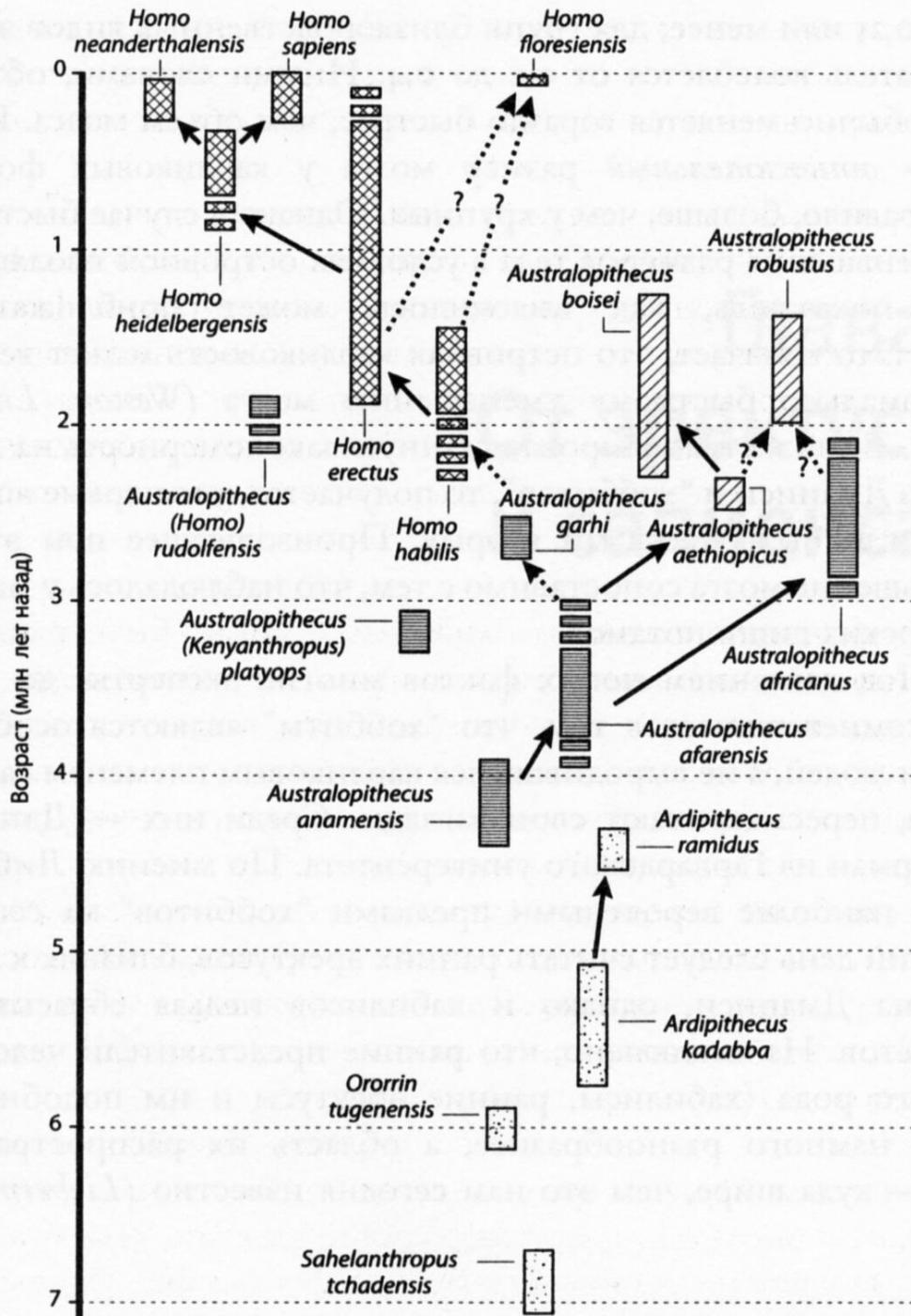
Человек работающий (*Homo ergaster*) (1.9-1.4 млн лн), размер мозга — **700—850 см<sup>3</sup>**.

Человек прямоходящий (*Homo erectus*) (1.4-0.2 млн лн), размер мозга составлял **850 -1100 см<sup>3</sup>**

Гейдельбергский человек (*Homo heidelbergensis*) (600—350 тыс лн), размер мозга **1100—1400 см<sup>3</sup>**.

Неандертальцы (*Homo neanderthalensis*) (350-30 тыс лн), размер мозга **1200—1900 см<sup>3</sup>**.

200 тысяч лет назад появился человек разумный (*Homo sapiens*), размер мозга **1000—1850 см<sup>3</sup>**.



# ЭВОЛЮЦИЯ ГОМИНИН

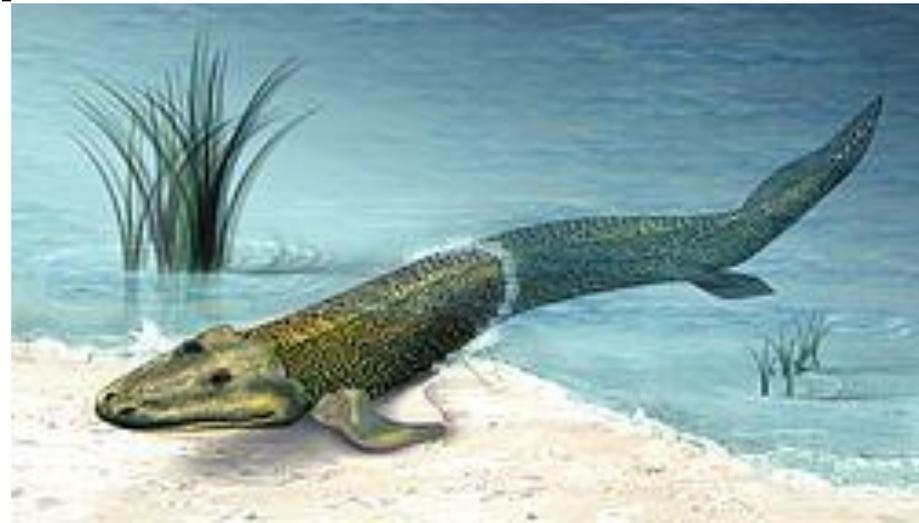
**«Микро-» и «макроэволюция»  
могут принципиально  
отличаться, если крупные  
изменения происходят  
скачкообразно.**

***Но чаще макроэволюция - это  
просто сумма множества  
последовательных  
микроэволюционных  
событий.***

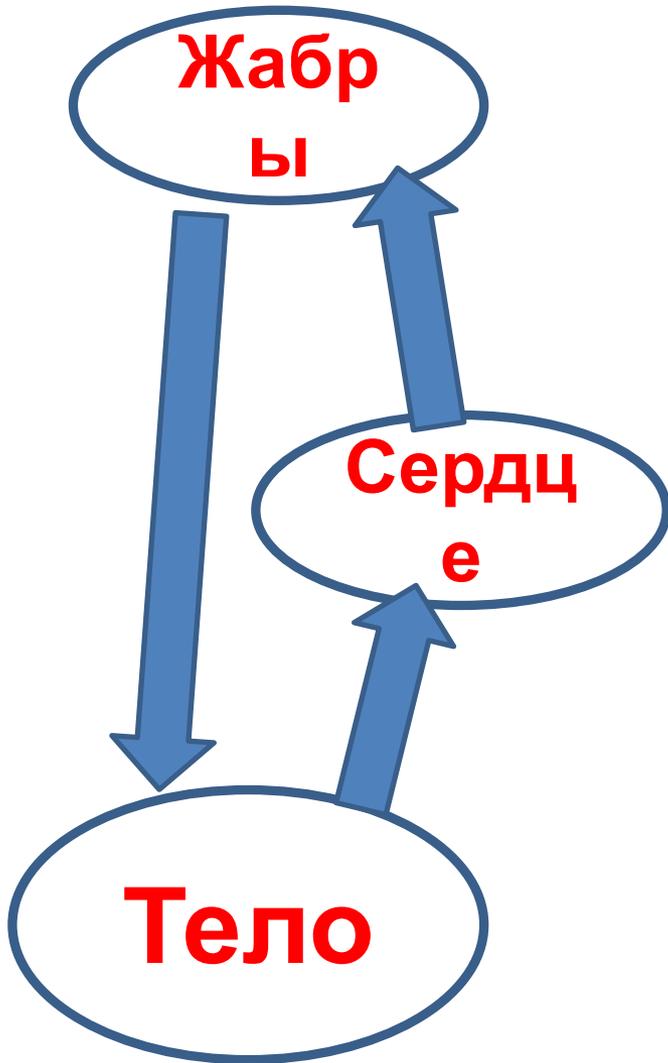
## Пример:

Переход от лопастеперых рыб к тетраподам растянулся примерно на 25 млн лет (385 - 360 млн лет назад) и состоял из множества последовательных микроэволюционных шажков, ни один из которых в отдельности не подходит на роль макроэволюционного. В девоне было понижено содержание O<sub>2</sub> и у этих рыб постепенно развились выпячивания пищевода для заглатывания воздуха – будущие легкие и они же выполняли роль плавательного пузыря. Параллельно плавники превращались в конечности, развивались два круга кровообращения и проч.

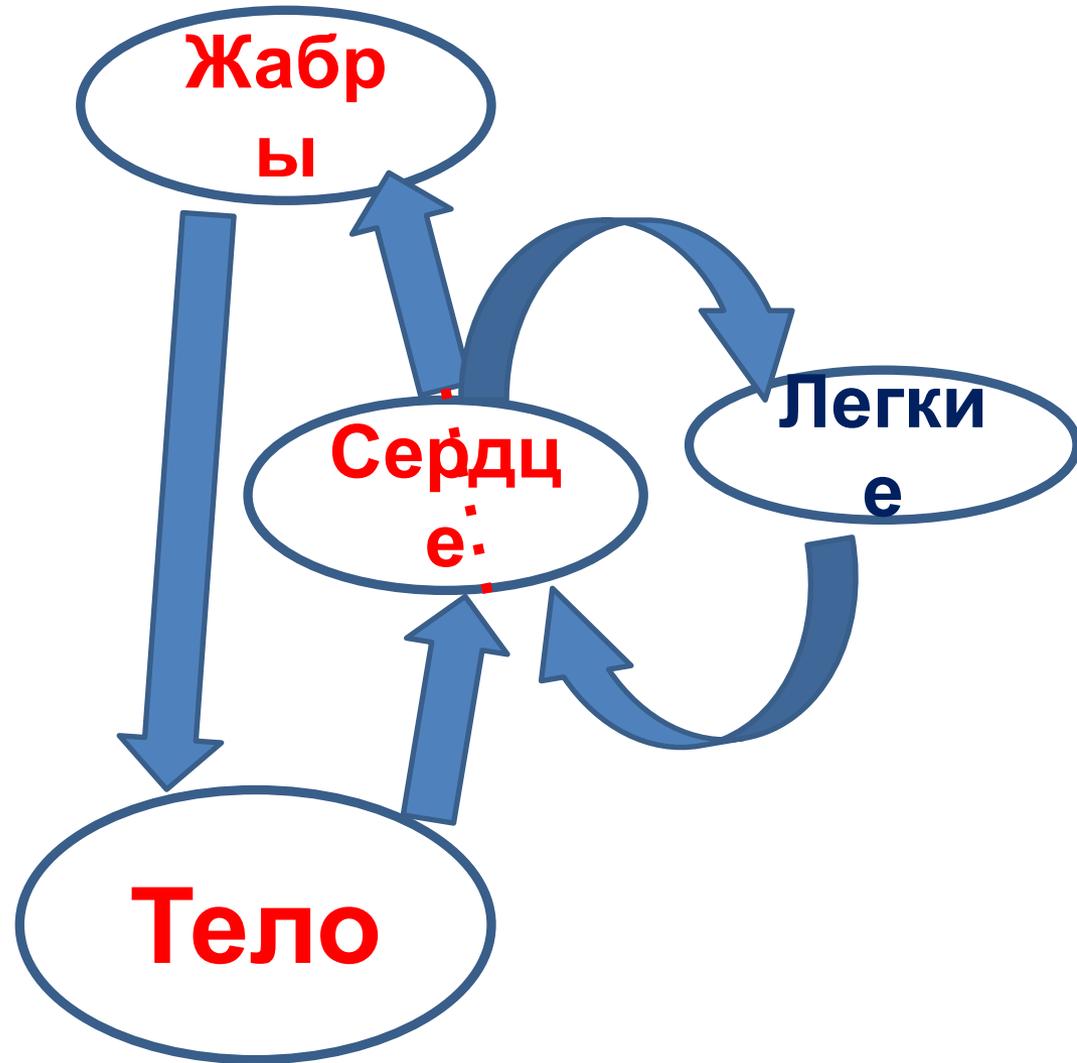
Одной из «продвинутых» девонских кистепёрых рыб являлся [тиктаалик](#) (Tiktaalik)



# Рыбы



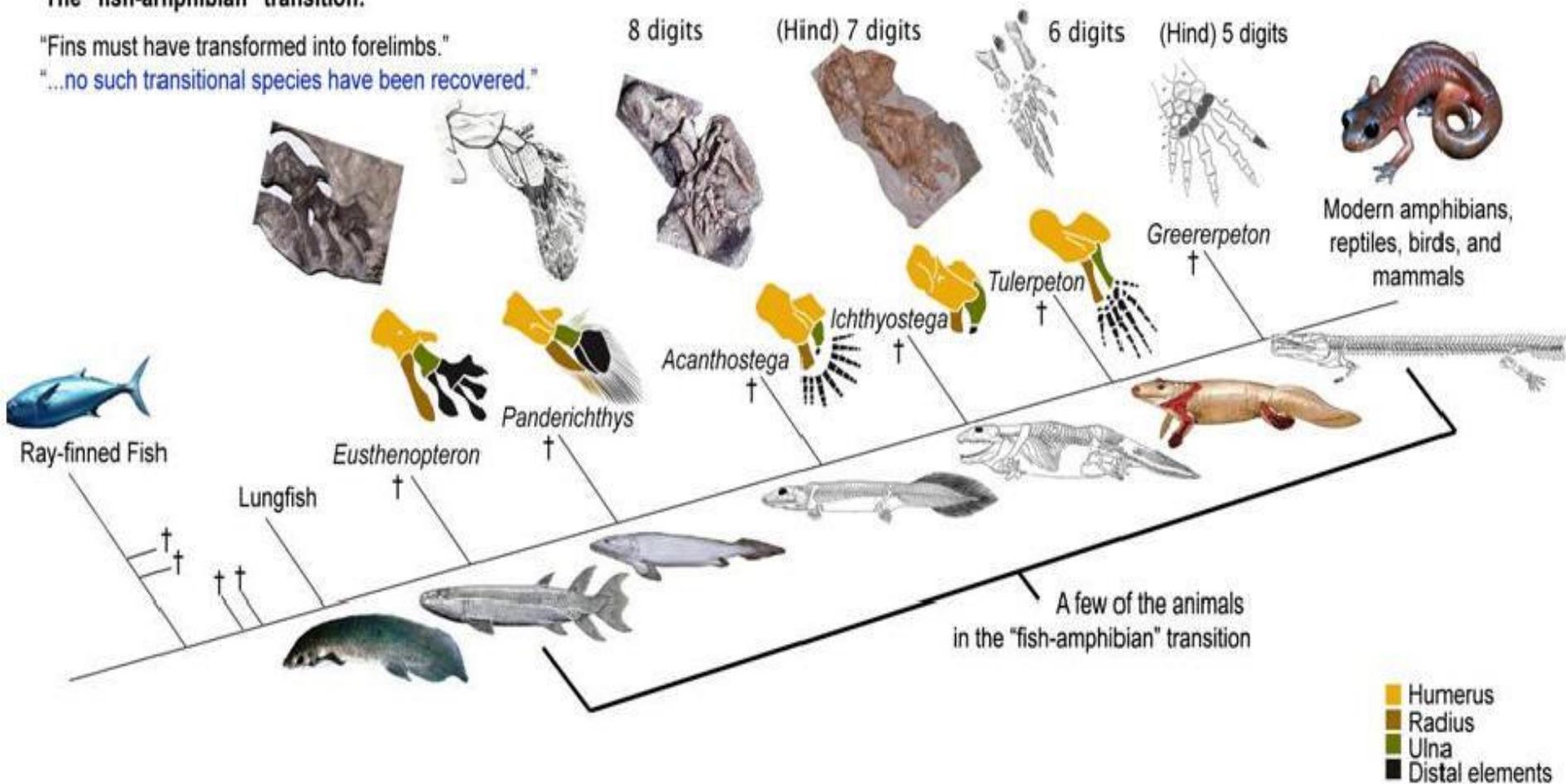
# Тетраподы



## The "fish-amphibian" transition:

"Fins must have transformed into forelimbs."

"...no such transitional species have been recovered."



Упрощенная схема перехода от лопастеперых рыб к первым тетраподам. Рисунок использовался на ["обезьяньем процессе" в Пенсильвании в 2005 г.](#) для иллюстрации ложности заявлений креационистов об отсутствии переходных форм между рыбами и амфибиями (процесс, как известно, выиграли эволюционисты, несмотря на то, что судья Джонс, выносивший вердикт, был очень религиозным человеком),

**Из вердикта суда (судья Джонс, 2005, Пенсильвания) по поводу включения в курс местной школьной программы идеи разумного замысла:**

- «Мы заключаем, что ID [intelligent design, то есть разумный замысел] не относится к сфере науки и не может быть признан подлинной и авторитетной научной теорией, поскольку он не опубликован в рецензируемых журналах, не задействован в исследованиях и проверках, а также не принят в научном сообществе. Основания ID, как было отмечено, лежат в богословии, а не в науке... Кроме того сторонники ID**

**Костистые рыбы в кайнозое стали предпринимать новые "попытки" освоить сушу, порой весьма успешные. У этих современных рыб предпосылок для выхода на сушу гораздо меньше, чем у их девонских предшественников. Бывшие легкие у них уже "истрачены" на плавательный пузырь, а задние конечности (брюшные плавники) пришли в негодное для превращения в ноги состояние. Но есть ряд видов достигших в этом успеха (илистые прыгуны)**

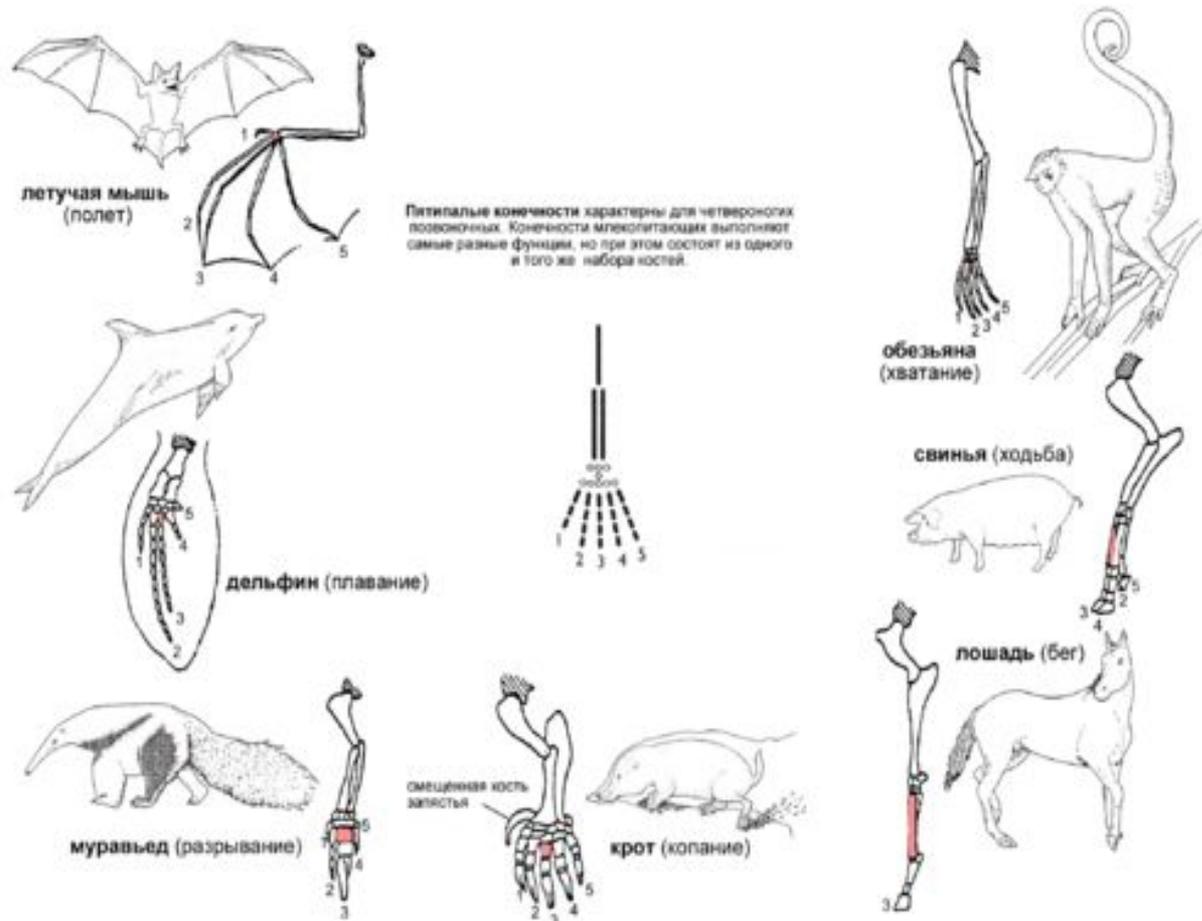


## 4. Морфологические доказательства

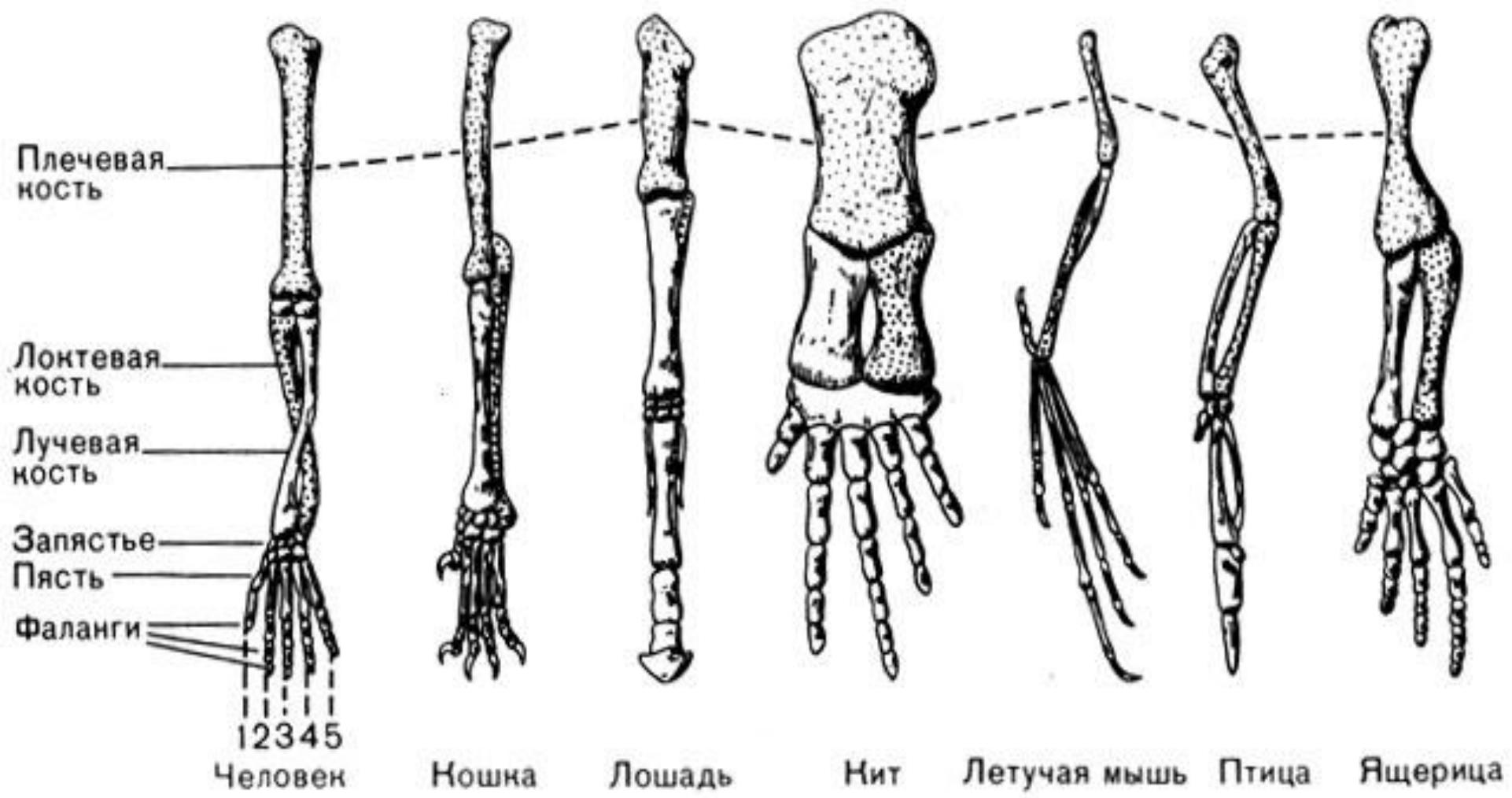
Если идея эволюции верна, мы должны наблюдать в живой природе многочисленные свидетельства "переделки" и "подгонки" *старых признаков* (органов, тканей, планов строения) под *новые условия* (экологические ниши) и *новые задачи* (функции). **Именно это мы и наблюдаем в природе.**

# Гомологичные органы

Органы животных разных видов, имеющие один и тот же план строения, занимающие сходное положение в организме и развивающиеся из одних и тех же зачатков, называют **гомологичными**. Если такие **органы со сходным строением у разных видов выполняют разные функции**, то единственное тому **простое объяснение — происхождение от общего предка**.

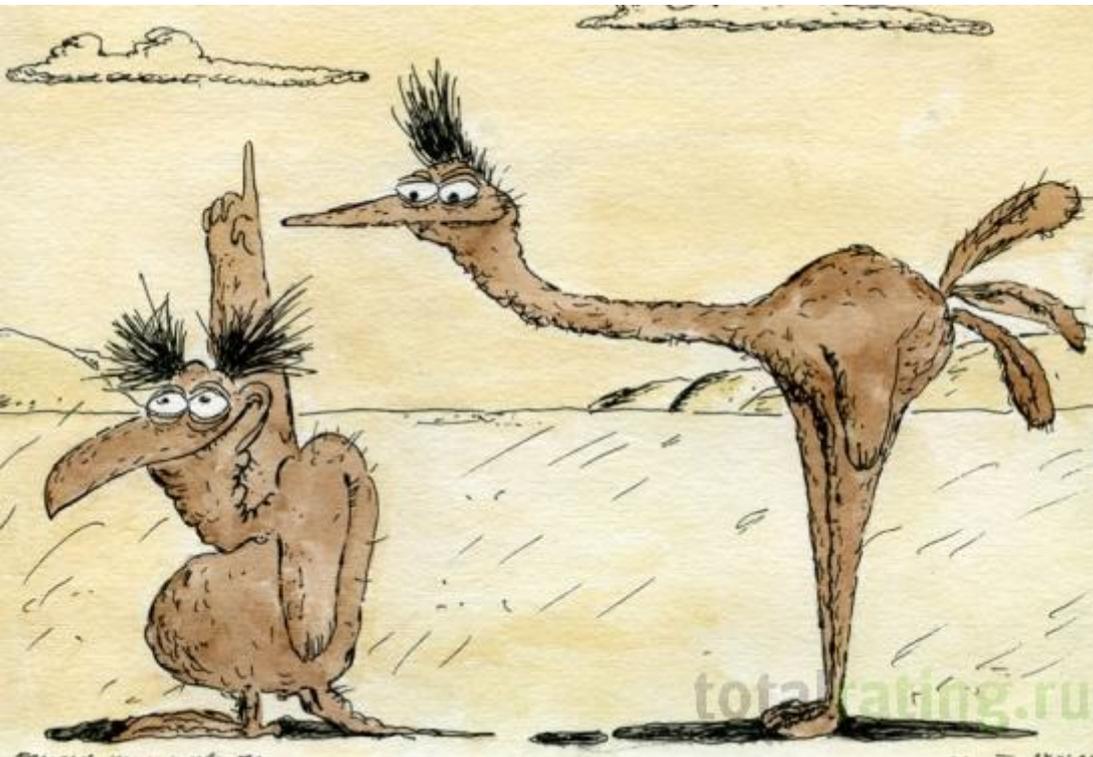


С точки зрения «разумного дизайнера» непонятно зачем нужно использовать **один** набор материалов для разных функций у **разных** форм. **Но главное не это – любой биомеханик всегда предложит более удачную конструкцию.** Например, одну кость вместо сращения лучевой и локтевой костей у копытных.



# Рудименты

Органы, утратившие своё основное значение в процессе эволюции. Это также структуры, редуцированные и обладающие меньшими возможностями по сравнению с соответствующими структурами у других организмов. Многие рудиментарные органы не являются бесполезными и выполняют второстепенные функции.



Например, птичье крыло — крайне сложная анатомическая структура, специально приспособленная для полета, но крылья *страусов* не используются для полета. Эти рудиментарные, хотя и достаточно сложно устроенные (как и у других птиц) крылья могут использоваться для сравнительно простых задач, таких как поддержание равновесия на бегу и привлечение самок — с тем же успехом можно приспособить и микроскоп для заколачивания гвоздей .



**Какапо** – (новозеландский нелетающий) **совиный попугай**. К сожалению, он, похоже, не только забыл, как летать, но и забыл, что он забыл, как летать. **Сильно взволнованный какапо иногда вскарабкивается на дерево и прыгает оттуда, после чего он летит как кирпич и обрушивается на землю бесформенной грудой.** Ричард Докинз (*The greatest show on Earth: The Evidence for Evolution*)  
Есть и другие примеры нелетающих птиц.

## Другие примеры рудиментов:

• У человека к рудиментам относятся:

• Хвостовые позвонки; волосяной покров туловища,

• Специальные мышцы которые у предков служили для "поднятия шерсти дыбом" (полезно для терморегуляции, и помогает животным выглядеть крупнее - для устрашения . У людей сокращение этих мышц приводит к "гусиной коже", что едва ли может иметь какое-то адаптивное значение.

• Три ушные мышцы, которые позволяли нашим предкам шевелить ушами. Встречаются люди, умеющие пользоваться этими мышцами. Это помогает животным с большими ушными раковинами определять направление на источник звука, но у человека данная способность может использоваться только для забавы.

• **Червеобразный отросток слепой кишки (аппендикс).**

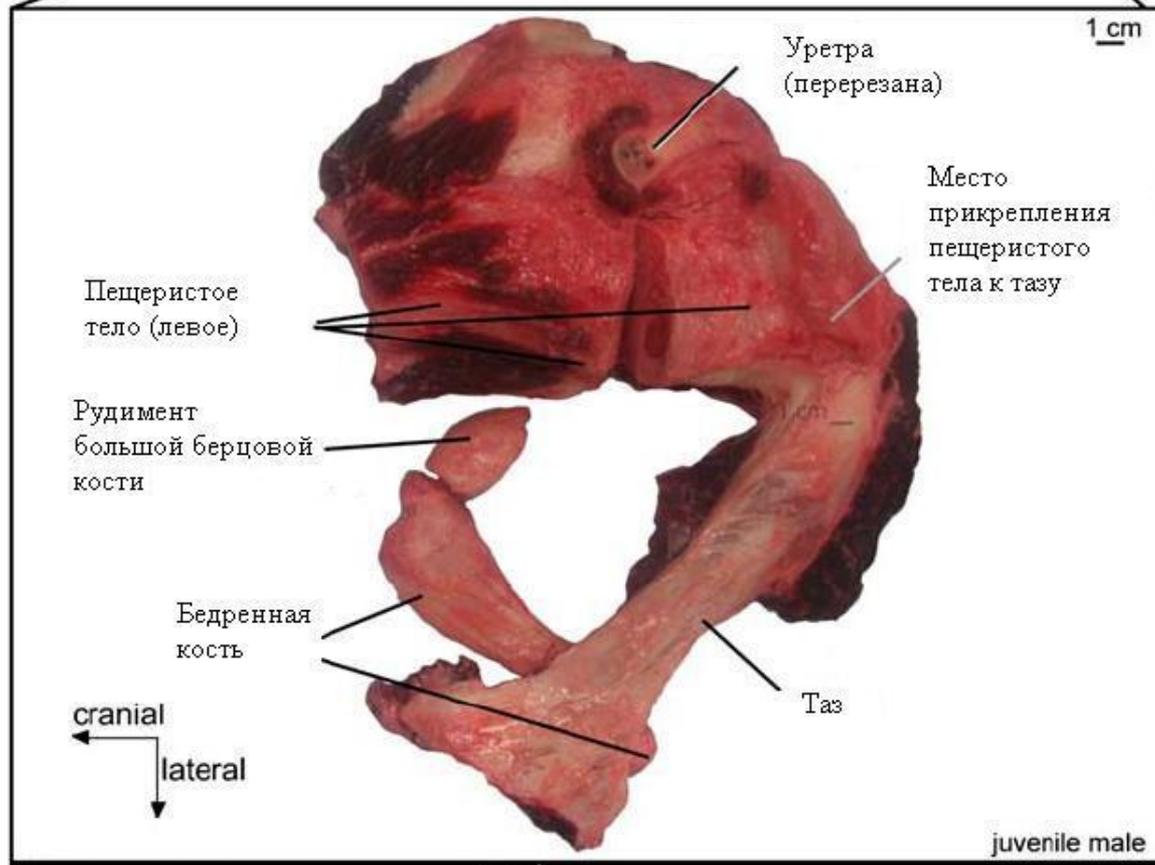
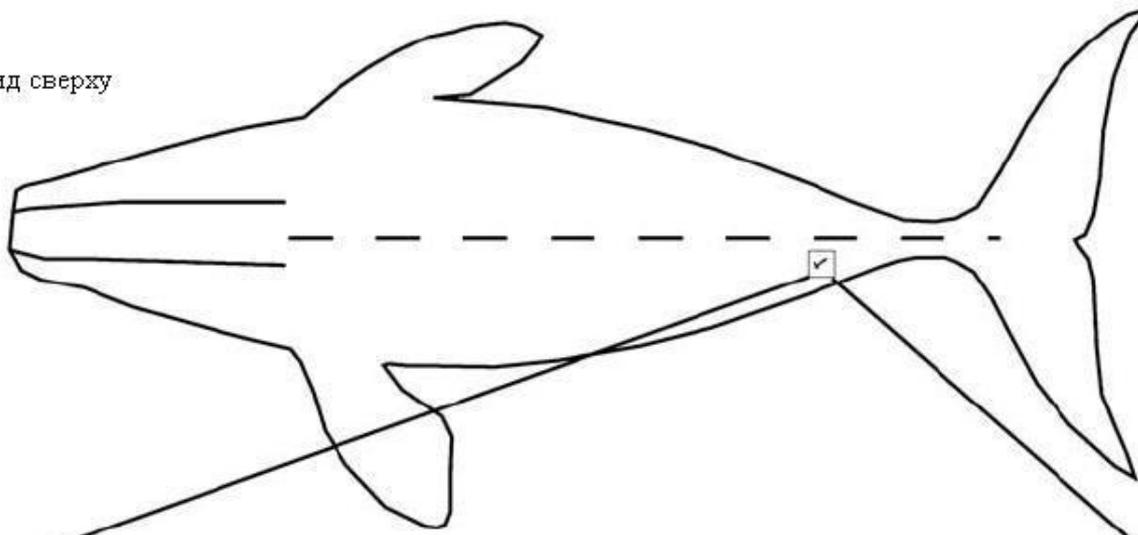
Многолетние наблюдения показали, что удаление аппендикса не оказывает значимого влияния на продолжительность жизни и здоровье людей (если его удалить при воспалении).

• **Икота:** это рефлекторное движение (вдох) мы унаследовали от своих далеких предков - амфибий. У головастика этот рефлекс позволяет быстро пропустить порцию воды через жаберные щели. И у человека, и у головастика этот рефлекс контролируется одним и тем же отделом мозга и может быть подавлен теми же средствами (вдыханием углекислого газа или расправлением грудной клетки).

# Рудиментарные задние конечности питона



Вид сверху



# Рудиментарные кости тазового пояса гренландского кита

## **АТАВИЗМЫ**

Появление у особи признаков, *свойственных отдаленным предкам*. Появление атавизмов объясняется тем, что гены, отвечающие за данный признак, сохранились в ДНК, и в норме подавляются действием других генов, но иногда проявляют себя. **Признаки, ставшие бесполезными, могут сохраняться в течение миллионов лет в виде записи в ДНК, постепенно редуцируясь и разрушаясь под грузом мутаций.**

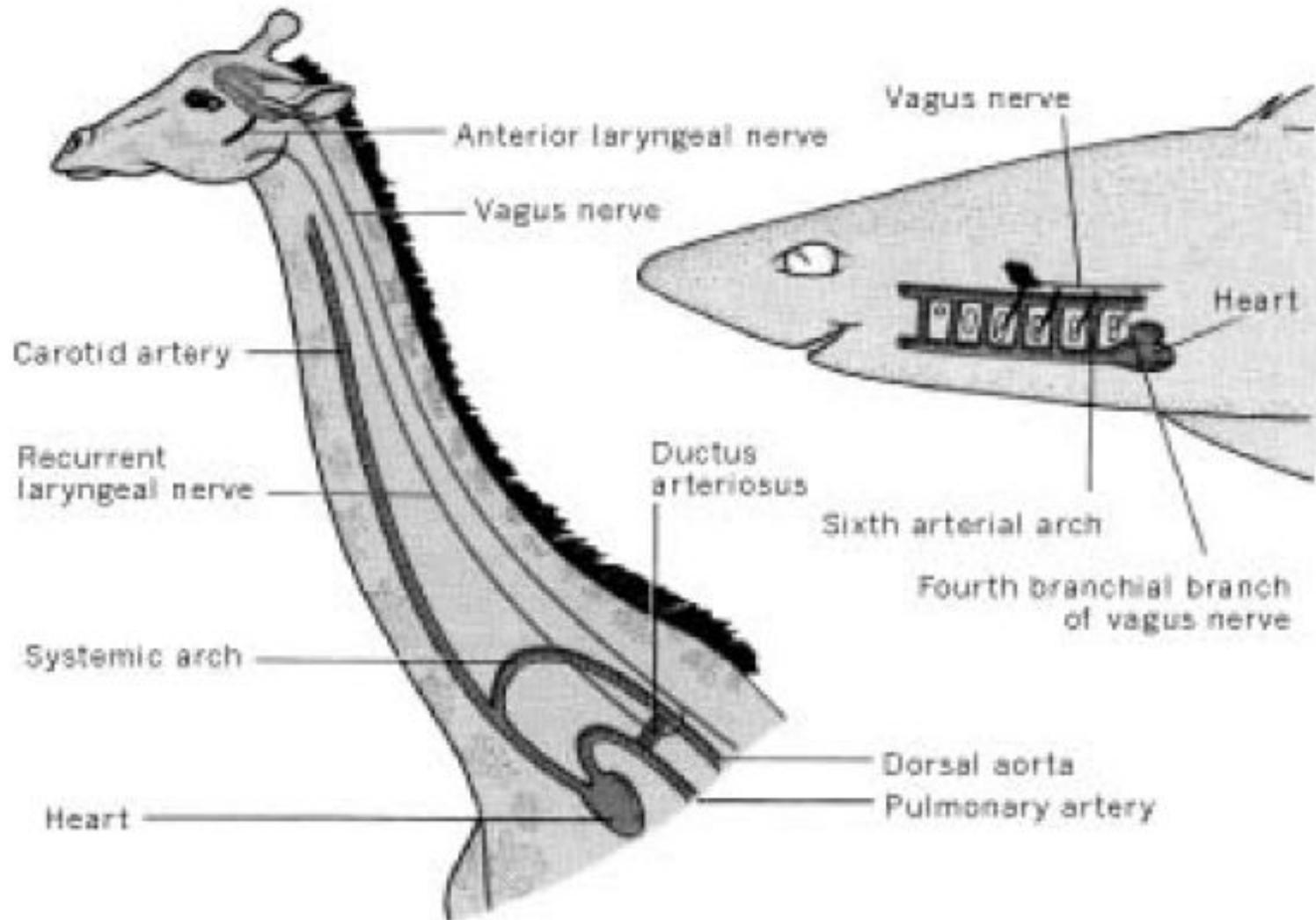
### *Примеры атавизмов:*

- Хвостовидный придаток у человека;
- Сплошной волосяной покров на теле человека;
- Добавочные пары молочных желез у человека;
- Задние ноги у китов;
- У куриного эмбриона в челюстях могут формироваться зачатки зубов;
- Задние ноги у змей;
- Дополнительные пальцы у лошадей;

# Несовершенство строения организмов

В ходе эволюции каждая новая конструкция *не проектируется с нуля, а получается из старой за счет ряда изменений*. Эта особенность часто является причиной несообразностей в строении живых организмов.

**Пример: возвратный гортанный нерв** у млекопитающих идет от мозга к сердцу, огибает дугу аорты и возвращается к гортани. В результате нерв проходит гораздо более длинный путь, чем необходимо, а аневризма аорты может приводить к параличу левой голосовой связки. Особенно наглядно проблема видна на примере жирафа, у которого длина возвратного нерва может достигать 4 метров, хотя расстояние от мозга до гортани — несколько сантиметров. Такое расположение нервов и сосудов млекопитающие унаследовали от рыб, у которых шея отсутствует. Эволюционная история кровеносной системы и нерва воспроизводится в развитии эмбрионов млекопитающих.



Расположение 4 –ой ветви блуждающего нерва у не имеющей шеи акулы вполне рационально. У жирафа, унаследовавшего относительное расположение нервов и кровеносных сосудов от далеких рыбообразных предков, путь гомологичной ветви блуждающего нерва потрясюще нелеп: "за семь верст киселя хлебать". Из книги Р. Докинза "[The greatest show on earth](#)".

***Желудочно-кишечный тракт млекопитающих пересекается с дыхательными путями, в результате мы не можем одновременно дышать и глотать, а кроме того можем подавиться.***

**Эволюционное объяснение этого заключается в том, что предками млекопитающих являются кистепёрые рыбы, которые заглатывали воздух, чтобы дышать и легкие у них сформировались как выросты пищевода.**

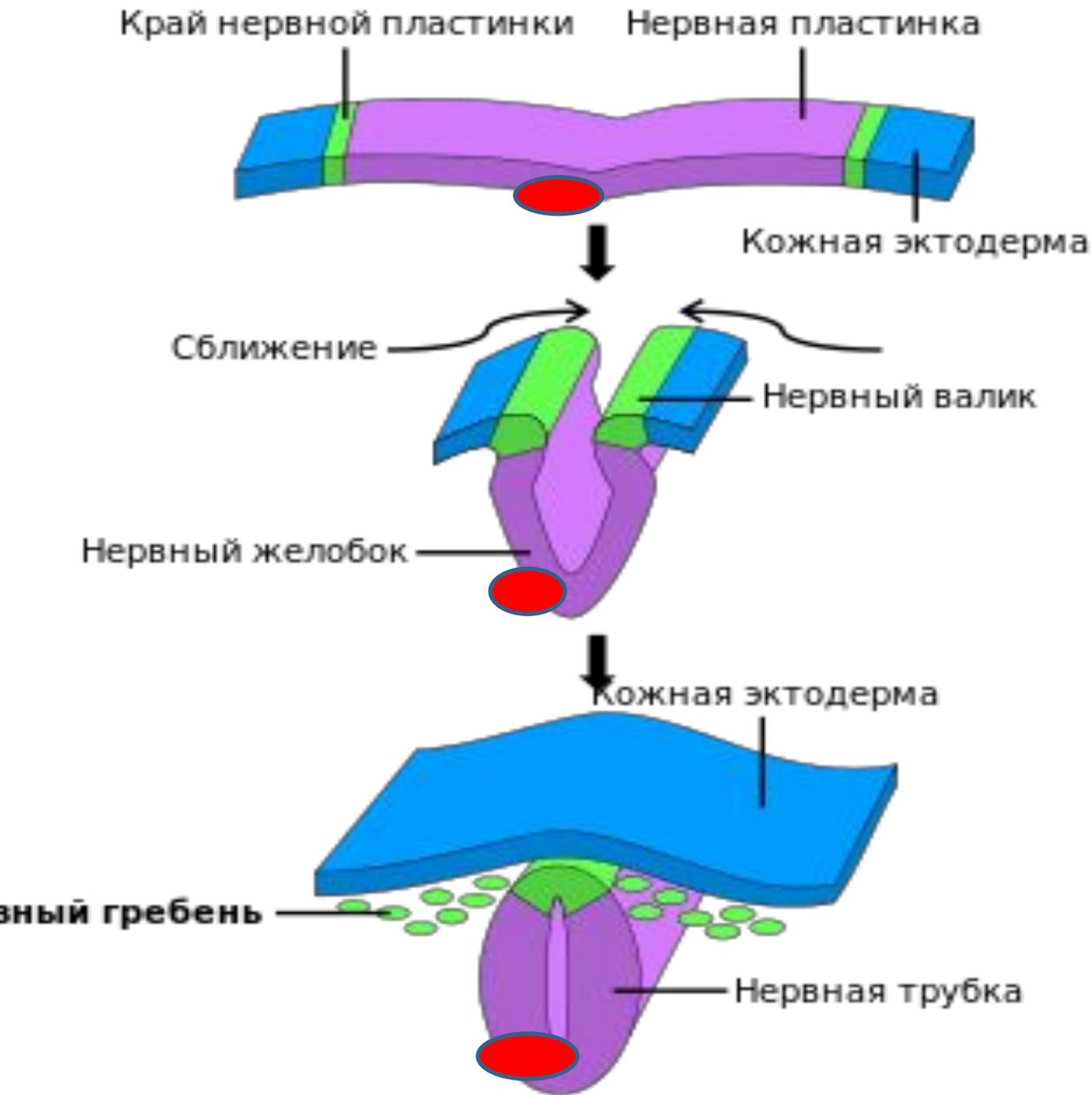
# Эволюция глаза у позвоночных животных

Еще один пример несовершенства в строении организмов — сетчатка позвоночных и слепое пятно.

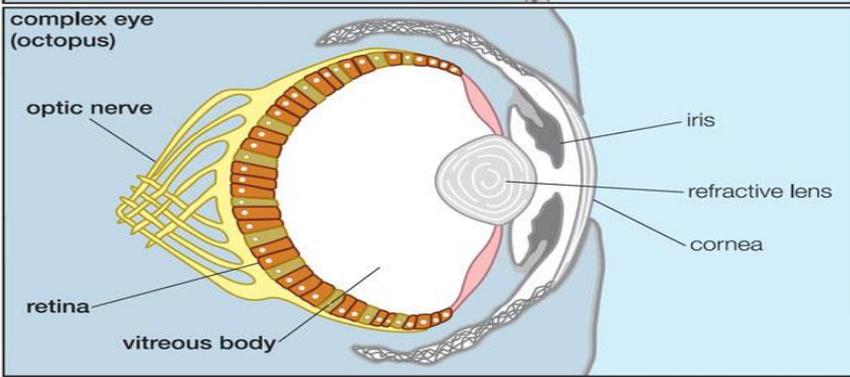
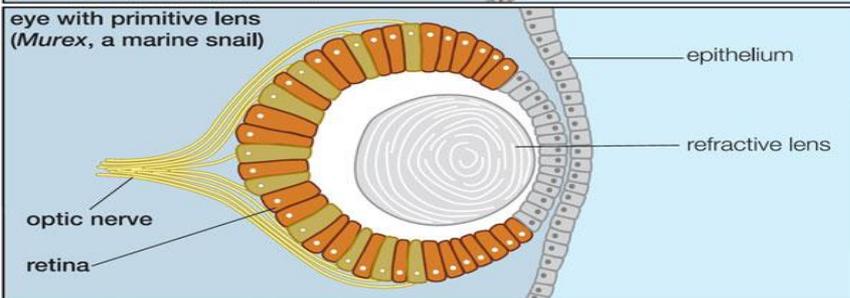
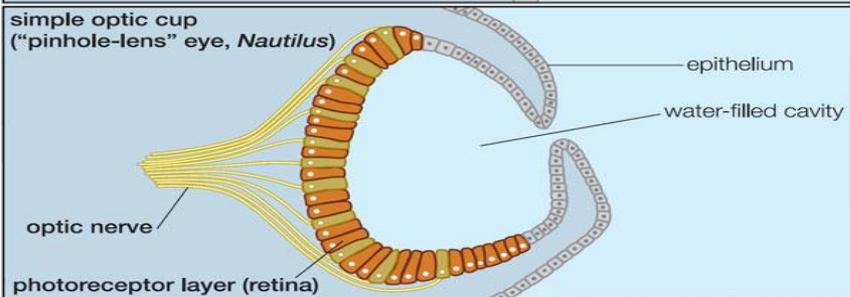
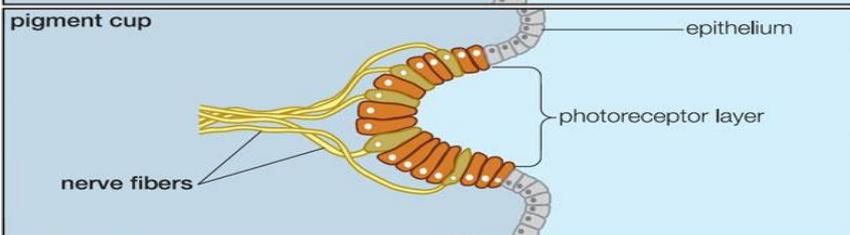
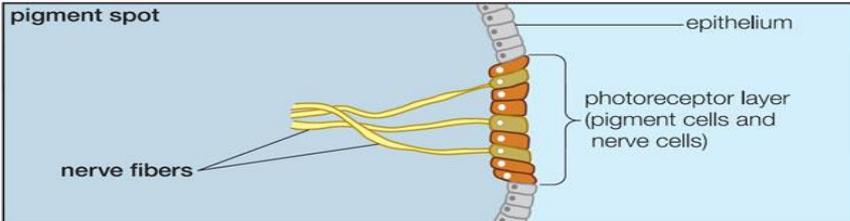
У позвоночных нервы и сосуды сетчатки расположены поверх светочувствительных клеток, а значит — свет должен пройти через несколько слоев клеток прежде чем попасть на «палочки» и «колбочки» сетчатки. Слепое пятно — это отверстие в сетчатке, через которое нервы идут от сетчатки к мозгу.

У позвоночных есть целая серия адаптаций к такому «вывернутому» строению глаза (напр. отсутствует миелиновая оболочка аксонов, что повышает их прозрачность, но снижает скорость передачи импульса). Великий немецкий ученый XIX века Герман фон Гельмгольц сказал о человеческом глазе: *"Если бы какой-нибудь оптик попытался продать мне инструмент со всеми этими дефектами, я бы счел себя в полном праве в самых сильных выражениях обвинить его в разгильдяйстве, и вернул бы ему его инструмент"*. (Красные стрелки – путь светового импульса)





**Первичные фоторецепторы (даны красным) закладываются в ходе развития нервной трубки у позвоночных животных**



**Эволюция глаза у моллюсков.**  
У головоногих (самый нижний рисунок) аналогичный по сложности глаз устроен вполне рационально т.к. им «повезло»: фоторецепторы не были связаны с формированием нервной трубки. Причина «вывернутого наизнанку» глаза позвоночных – наследие древних предков, подобных ланцетнику, которые имели фоторецепторы, обращенные во внутреннюю полость спинной нервной трубки.

# 5. Эмбриологические доказательства

## Свидетельства эволюции в индивидуальном развитии организмов

1. Эволюционируют (меняются) не взрослые организмы и их признаки, а **генетические программы их индивидуального развития (онтогенеза)**. Данные эмбриологии свидетельствуют о том, что **алгоритм развития каждого вида живых организмов является модификацией алгоритмов развития его предков.**

2. Генетическая программа онтогенеза многоклеточных животных сама по себе содержит **меньше** информации, чем получающийся на ее основе взрослый организм.

*Новая информация "самозарождается" в ходе онтогенеза (процесс самоорганизации при взаимодействии разных клеток) с участием окружающей среды (силы тяжести, и проч.) .*

При этом есть «разрешенные» и «запрещенные» состояния системы.

**3. Индивидуальное развитие многоклеточных организмов довольно часто повторяет отдельные этапы его эволюционной истории (биогенетический закон Мюллера-Геккеля).**

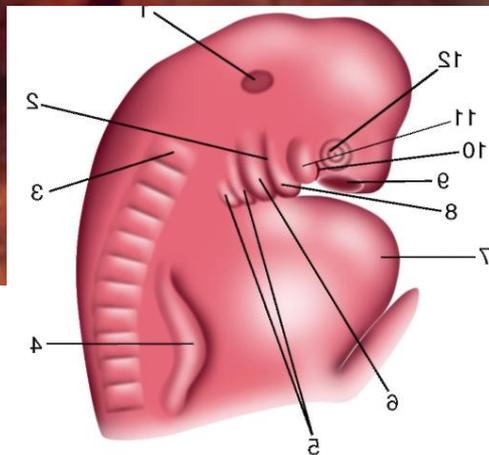
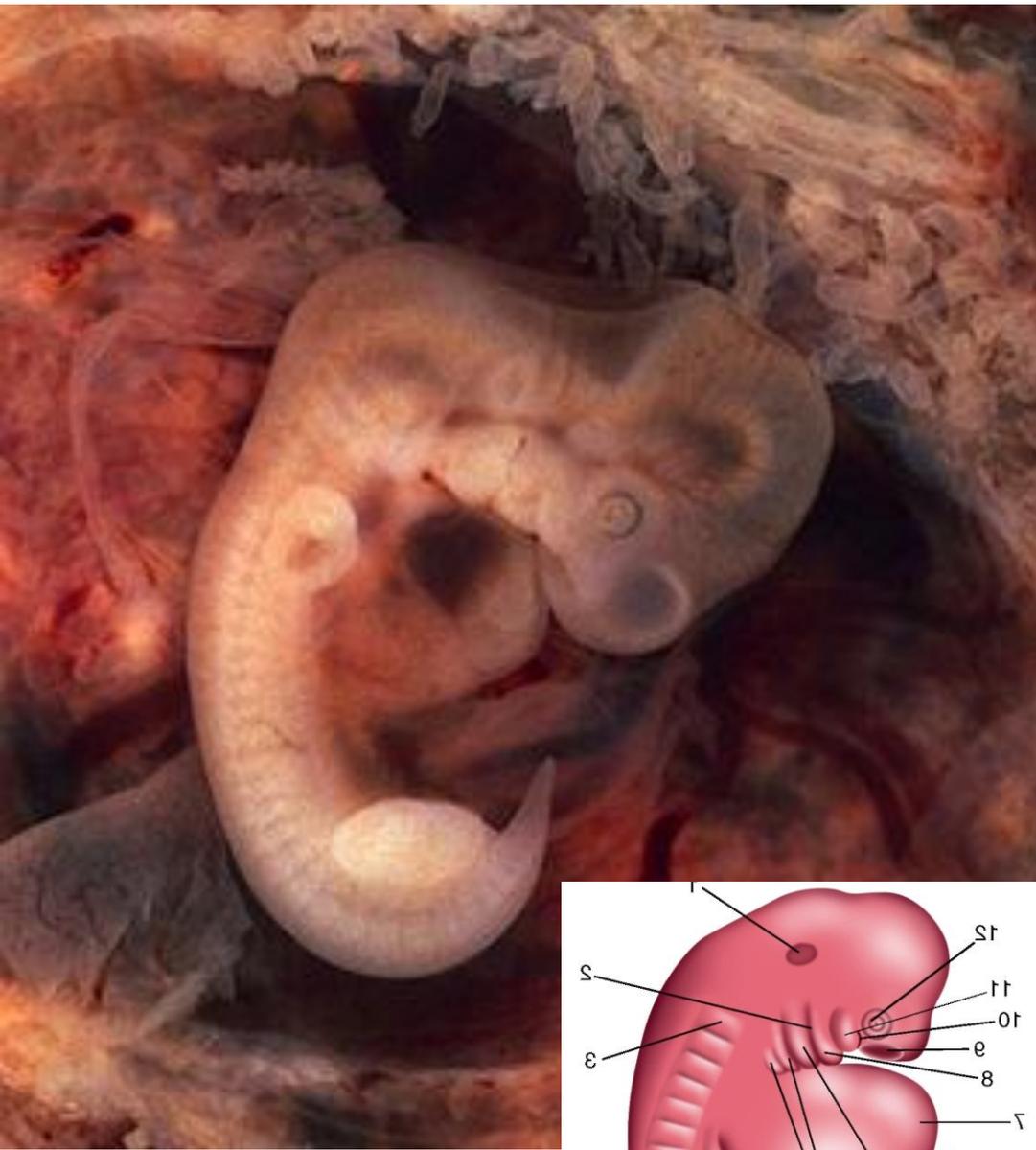
**Это связано с тем, что эволюционно более ранние приобретения уже давно связаны с другими жизненно важными признаками и их изменение нежелательно, а более поздние признаки еще пластичны и могут меняться. Поэтому приобретение нового идет по «принципу аддитивности», т.е. добавления (или надстройки) нового к старому.**

**Даже очень непохожие друг на друга животные проходят одинаковые ранние стадии развития: зигота (оплодотворенное яйцо), бластула, гаструла и др., повторяя т.о. этапы перехода к многоклеточности и другие эволюционные приобретения.**

У всех позвоночных животных наблюдается сходство зародышей на ранних стадиях развития: форма тела, зачатки жаберных дуг, хвост, один круг кровообращения и т.д. (закон зародышевого сходства Карла Бэра).  
*Но по мере развития, сходство между зародышами постепенно стирается и начинают преобладать черты, свойственные их классам, семействам, родам, и, наконец, видам.*

## Месячный эмбрион человека.

Видны **зачатки жабер и хвост**. Разумеется, жаберные мешки зародышей млекопитающих в ходе развития превращаются не в жабры, а в структуры, возникшие в ходе эволюции из них, такие как евстахиевы трубы, среднее ухо, миндалины, и др. **При этом сохраняется относительное расположение нервов и кровеносных сосудов, подходивших к жаберным дугам у рыб.** Поэтому, например, возвратный гортанный нерв у млекопитающих от мозга идет вниз по шее, огибает аорту и возвращается вверх к





**Эмбрион  
дельфина.**  
Видны зачатки  
передних  
(f) и задних (h)  
конечностей.  
Из первых  
разовьются  
плавники, вторые  
исчезнут.  
[talkreason.org](http://talkreason.org)

## ПРИМЕРЫ

У сумчатых млекопитающих в ходе развития зародышей на короткое время возникает и потом рассасывается **яичная скорлупа**, а у некоторых (коала) даже имеется **рудиментарный яичевой зуб**.

(Tyndale-Biscoe, H. and Renfree, M. 1987. [Reproductive Physiology of Marsupials](#)).



# ПРИМЕРЫ

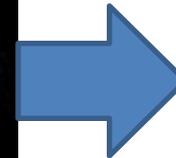
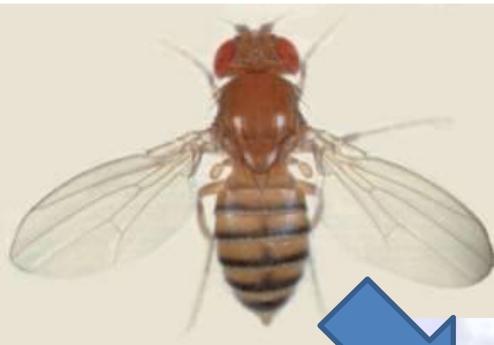
У взрослых **камбалообразных рыб** оба глаза находятся на одной стороне головы (обычно правой), а весь череп сильно искривлен и искорежен. У предков камбал, естественно, голова была симметричной, как у всех нормальных рыб. Поэтому неудивительно, что **мальки камбал тоже имеют симметричную голову**, которая в ходе роста постепенно теряет симметрию, искажается, и один глаз переползает на другую сторону головы.



# «Эво-дево»(evolutionary development) : следы макроэволюции

Легко представить себе изменчивость особей одного вида по размерам, форме, окраске (породы собак, сорта растений), но крупные перестройки строения организмов и их органов - не столь очевидны. Могут ли скачкообразно (т.е. за одно или несколько поколений) возникать глубокие различия в строении или поведении организмов, позволяющие говорить о появлении новых родов, семейств, классов, типов, то есть макроэволюции?

Генетикам давно известны *мутации, вызывающие резкие перестройки плана строения организмов*, такие как **гомеозис** (изменение органов) или образование обычных органов в несвойственных им местах. **Примеры:** мутации лишь одного гомеозисного гена могут вызвать резкие изменения в строении дрозофилы и арабидопсиса («дрозофилы» растительного мира)



Но: крупные морфологические перестройки могут быть обусловлены не только генетическими, но и эпигенетическими механизмами, связанными с управлением и регуляцией работы генов: они включаются не там, и (или) не тогда, когда положено.

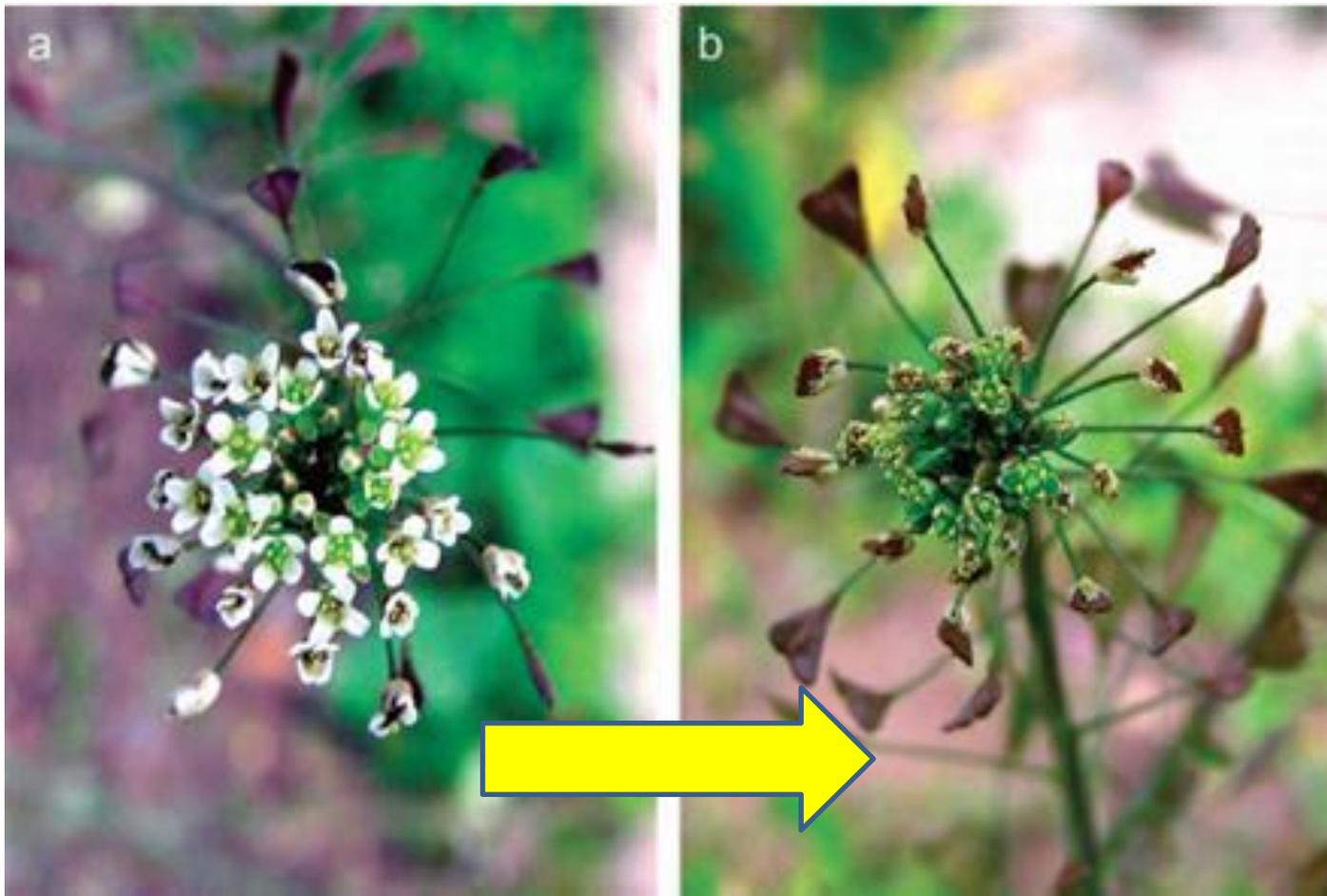
Гипотеза «обнадёживающих монстров»  
(hopeful monsters) Гольдшмита:  
появление резко отличающихся «уродов», которым может приходиться нелегко, но при определенных обстоятельствах они могут иметь успех.

При определенных обстоятельствах могут длительно поддерживаться целые популяции таких «монстров».

**Пример:** *льнянка* (родственник львиного зева). К.Линнеем описана как форма утерявшая двустороннюю симметрию, на одном из шведских островов (1742 г.). Эта популяция есть и сейчас, что позволило уже современными методами выяснить, что это не «классическая» мутация, а **передача по наследству метилирования гомеозисного гена** отвечающего за двустороннюю симметрию цветка. Т.е. это **эпигенетический механизм регуляции гена, который унаследовался.** При этом изменился и механизм опыления.



**Еще пример:** пастушья сумка (родственник арабидопсиса). В природе встречаются популяции у которых 4 лепестка, характерных для крестоцветных, превратились в тычинки и их стало 10 место 6. В данном случае это оказалось мутацией гомеозисного гена, отвечающего за развитие тычинок, у которого расширилась область экспрессии на область гена, отвечающего за лепестки. При этом механизм опыления насекомыми тоже сменился на ветроопыление.



**Важно отметить, что в обоих примерах никакой видимой большей адаптивности за этими эволюционными изменениями не стоит.**

**Тем не менее – это эволюция, причем скачкообразная.**

Отсюда возникло новое современное направление – эволюционная генетика развития, или «ЭВО-ДЕВО» (*evo-devo* - сокращение от *evolutionary development*), которое занимается поиском крупных эволюционных преобразований в результате изменений индивидуального развития биологических видов, методами *генетики развития* и *молекулярной филогенетики*.

***В заключительной главе «Происхождения видов» (по изданию 1939г., с.659) Ч. Дарвин пишет:***

**«Но так как в недавнее время мои выводы были превратно истолкованы, и утверждали, что я приписываю *изменения видов исключительно естественному отбору*, то мне может быть, позволено будет заметить, что в первом и последующих изданиях моей книги я поместил на видном месте, а именно – в конце введения – следующие слова:**

***«Я убежден, что естественный отбор был главным, но не исключительным фактором изменения»***

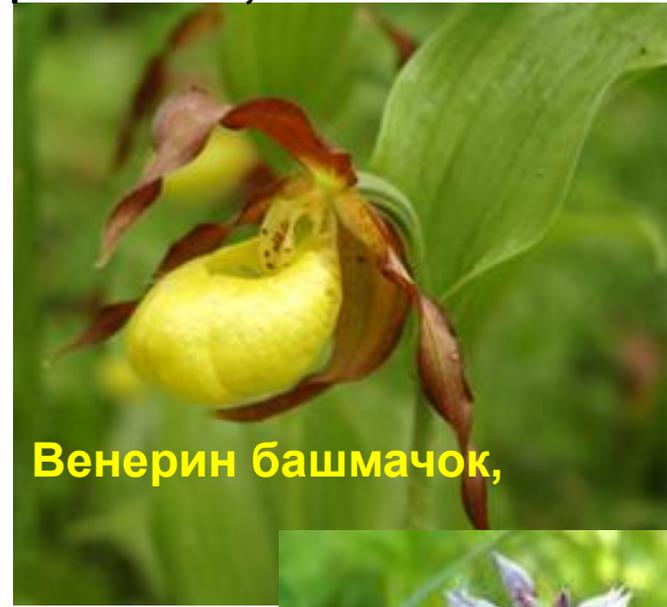
**Пример «эво-дево»:** развитие цветка у семейства орхидных - одного из 2-х самых больших семейств цветковых (орхидных 30 000 видов). Ниже приведены представители всех их 5 подсемейств, три из которых представлены и в России.



**Ваниль**



P. O'Byrne



**Венерин башмачок,**

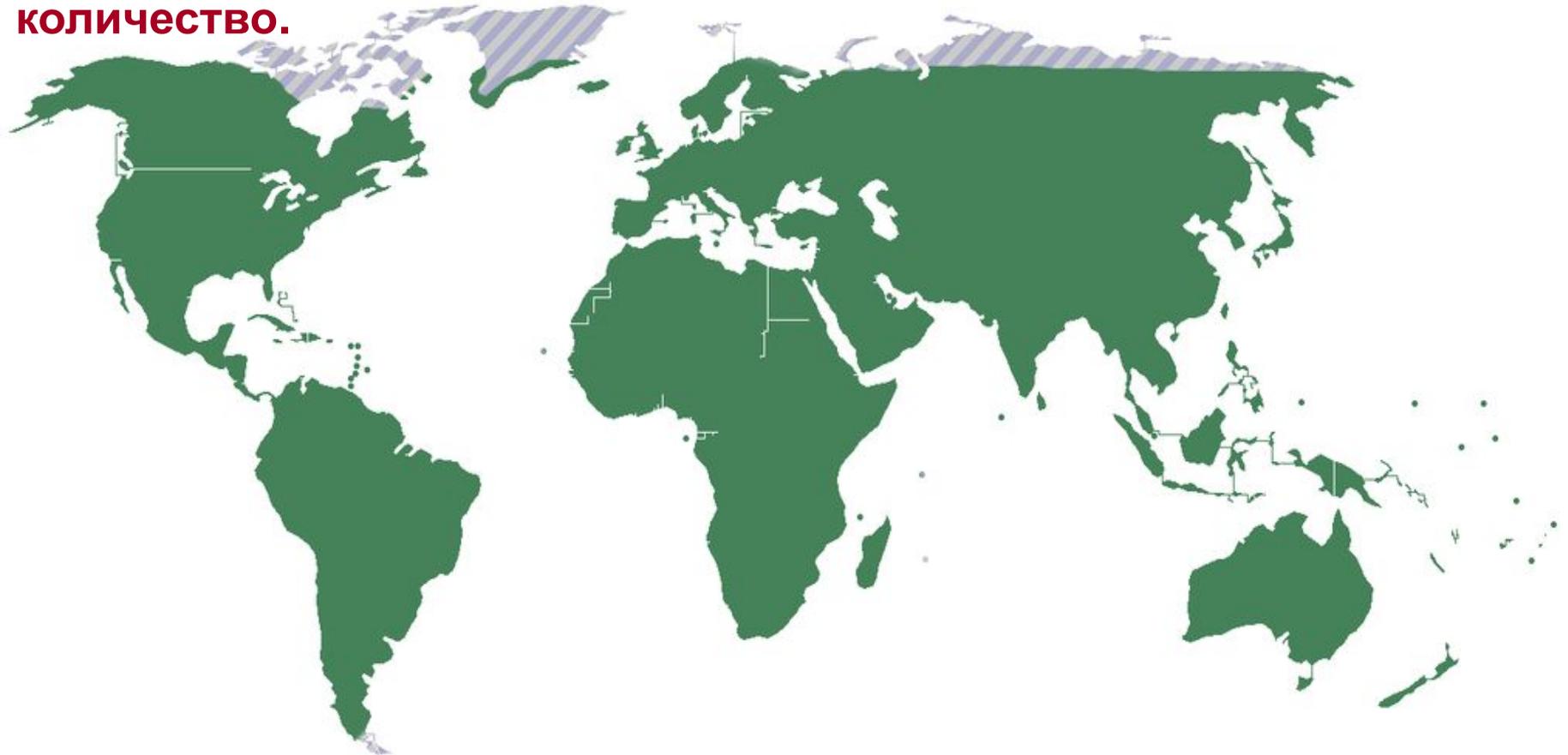


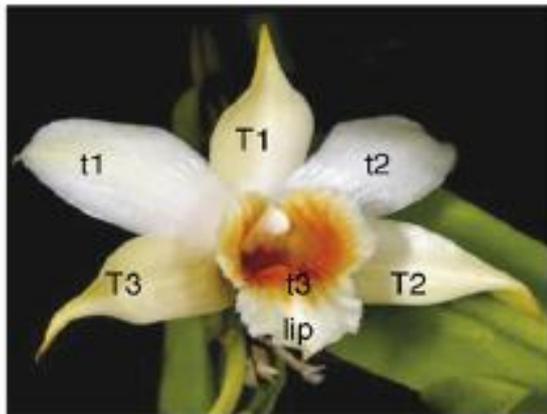
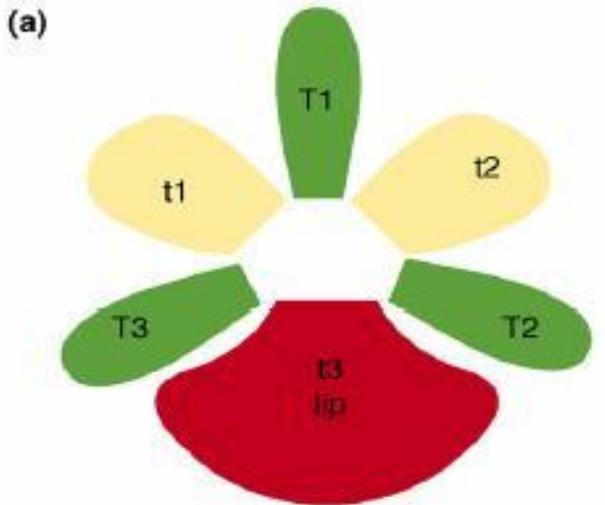
**Дремлик болотный**



**Ятрышник**

**Ареал семейства орхидных (самое большое по числу видов семейство однодольных) - пример несомненно успешного таксона. Каждый десятый вид растения на Земле – орхидное. Причина успеха – симбиоз с опылителями и грибами (впервые описал Ч. Дарвин в труде «Различные приспособления, при помощи которых орхидеи опыляются насекомыми».1884). Самый мелкий размер семян и самое большое их количество.**





*D. cariniferum*

Цветок орхидей поражает своим разнообразием. Но за этим стоит строгая прагматичность: 60% орхидей опыляются только своим видом опылителя (чаще всего насекомым). Цветок у всех двустороннесимметричный и состоит из 6 лепестков (2 круга по 3). t3 (красный) – губа, имеющая важное значение для опыления. Как выяснилось, в отличие от других цветковых **у орхидных вместо одного гомеозисного гена В-класса DEFICIENS (DEF) (отвечает за развитие лепестков) для этого есть целых четыре DEF-гена, один из которых отвечает только за развитие губы.** По данным молекулярной филогенетики у предков орхидных этих генов было два, а затем они дублировались в ходе эволюции с последующим разделением функций. Это **убедительный сценарий крупного макроэволюционного события – появления орхидных.**

# 6. Молекулярно-генетические и биохимические доказательства

1. Выяснение того факта, что ДНК постоянно *мутирует* является обоснованием теории эволюции (без изменчивости нет Э. теории).

**Несмотря на мутации, «вещество наследственности» (полинуклеотиды ДНК и РНК) и генетический код - одинаковы у всех форм жизни, от вирусов до человека, что соответствует представлению об их изначальном родстве с точки зрения эволюции.**

**Эволюционная теория, в отличие от антиэволюционистов, может логически объяснить почему генетический код почти не меняется в ходе всей эволюции и одинаков у всех организмов.**

**Предположим, что транспортная РНК мутировала и стала кодировать данную АК кодоном другой АК. Тогда во ВСЕХ белках той клетки, где это случилось, произойдет взаимозамена этих АК и все белки изменятся. Если это произошло в гамете, то она даже не разовьется в организм. Т.е. это безусловно элиминируется отбором, как крайне вредная мутация. Такой жесткий контроль должен был происходить даже в самом начале эволюции, когда видов было еще совсем мало. **На самом деле снабдить разные виды существ разными генетическими кодами было бы очень заманчиво – это оградило бы их, например, от проникновения чужих вирусов. Более того – это теоретически вполне возможно - число вариантов кодов:  $4.77 * 10^{34}$****

**2. Различия между геномами видов хорошо соответствуют независимо построенным филогенетическим деревьям и палеонтологической летописи. Оценка родства и времени расхождения видов по «молекулярным часам» обычно лишь дополняет и уточняет эволюционную картину.**

**Пример:**

**согласно данным палеонтологии, общий предок человека и шимпанзе жил **6-7 миллионов лет** назад (это возраст ископаемых находок оррорина и сахелантропа - форм, морфологически близких к общему предку человека и шимпанзе). Для того, чтобы получилось наблюдаемое число различий между геномами Ш. и Ч. **(1%)**, на **каждый миллиард нуклеотидов** должно было приходиться в среднем **30 изменений** за одно поколение. Сегодня у людей скорость мутаций составляет **10-50 изменений** на миллиард нуклеотидов за одно поколение, т.е. результаты совпадают.**

**3. Несмотря на то, что белки сохраняют функции и после многих замен АК, и несмотря на избыточность генетического кода, позволяющего разные варианты нуклеотидных последовательностей без изменения структуры белков (т.е. нейтральные мутации, или синонимичные замены) - аминокислотные последовательности большинства белков у близкородственных видов (например, у шимпанзе и человека), как правило, очень похожи, что можно объяснить только происхождением от общего предка.**

**Например, подавляющее большинство гомологичных белков человека и шимпанзе различаются лишь на 1-2 аминокислоты или не различаются вовсе.**

4. Установление родства по сходству ДНК откалибровано на группах людей с детально известной и датированной родословной очень точно (население Исландии, царские династии и проч.). Это позволяет применять метод и для восстановления связей даже там где нет исторических данных. **Так родство человека и шимпанзе устанавливается** даже не по высокому сходству ДНК (ядерной - на 99%, митохондриальной на 91% - т.к. там мутации на порядок чаще), а **по совпадению нейтральных мутаций** (без замен АК). Их у обоих видов в 7-8 раз больше значимых, что и предсказывается эволюционной теорией. Кроме того в большинстве случаев (44 из 58) для кодирования одной и той же аминокислоты в геноме человека и шимпанзе используется **один и тот же** триплет хотя мог бы использоваться другой (пример: АК треонин кодируется любым из четырех кодонов: АСА, АСТ, АСГ, АСС), но используется один. Вероятность случайного совпадения здесь ничтожна.

*Для человека, шимпанзе и гориллы по такому же совпадению **нейтральных** мутаций ДНК, – это ближайшие виды-родственники, а макака - дальний.*

***Результаты сравнения генов и белков подтверждают представления о родственных связях между видами (эволюционном древе), которые сложились задолго до "прочтения" геномов.***

*Аналогичные результаты получаются при сравнении практически любых генов в любых группах организмов. Каждый может убедиться в этом лично, поскольку все прочтенные гены и программное обеспечение для их анализа находятся в свободном доступе.*

# Биохимическое единство

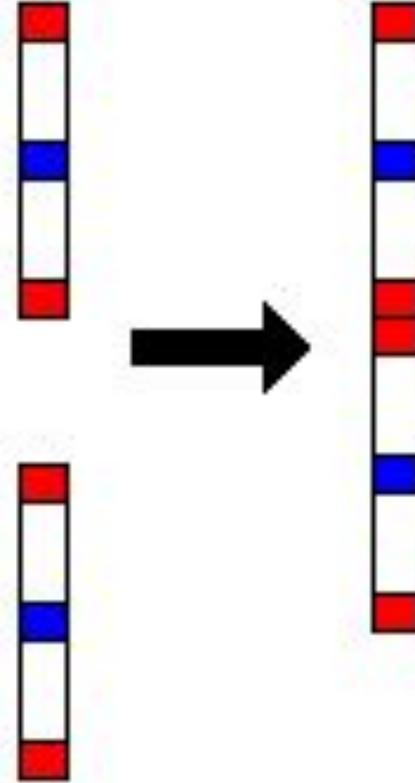
## ЖИЗНИ

Если не учитывать, что выражение «единство происхождения» конечно можно заменить на «единство творения», то общие биохимические черты жизни можно было бы считать доказательством общего эволюционного происхождения.

В ДНК всех организмов используются 4 нуклеотида (аденин, гуанин, тимин, цитозин), хотя в природе встречаются не менее 102 различных нуклеотидов. Кроме того, в природе встречается 390 различных АК тогда, как живым используется только 20+2. Код используется тоже единый, **хотя возможно  $4.77 \cdot 10^{34}$  различных вариантов генетических кодов**. Даже направление закрученности одного типа биомолекул одинаково (ДНК – вправо, белки – влево). У всех есть гликолиз и АТФ.

**Но единство именно *происхождения*, а не творения, в данном случае лучше доказывают, как раз, мелкие различия на фоне бесспорного сходства.**

# 2-я хромосома человека



После слияния двух хромосом остаются характерные следы: *остатки теломер и рудиментарная центромера*. У всех человекообразных обезьян 24 пары хромосом, за исключением людей, у которых их 23. Человеческая 2-я хромосома является результатом слияния двух хромосом предков.

# Эндогенные ретровирусы

Эндогенные ретровирусы (ЭР)- следы древних вирусных инфекций в ДНК (1% ДНК человека, все вирусы –ок. 7% ДНК). **Ретровирусы встраиваются в геном случайным образом, вероятность независимой встройки одинаковых вирусов на одинаковые позиции у двух разных организмов пренебрежимо мала. А значит, наиболее вероятно встроенный геном одного и того же ретровируса может присутствовать у двух животных на одной и той же позиции в ДНК в том случае, если эти животные произошли от общего предка.**

Действительно распространение ЭР в хорошо изученных группах видов (приматы) соответствует независимо построенному филогенетическому древу: чем ближе виды эволюционно, тем больше у них сходства картины встроенных в ДНК ЭР.

(источник: Е. Д. Свердлов "Retroviruses and primate evolution").

## Псевдогены

*Это неработающие, "молчащие" гены, которые возникают в результате мутаций, выводящих нормальные "рабочие" гены из строя. Это «генетические рудименты», которые могут много рассказать о прошлом данного вида.*

**Пример:** ярким доказательством эволюции является присутствие одинаковых псевдогенов в одних и тех же местах генома у видов, произошедших недавно от общего предка. Так, у человека есть псевдоген GULO, который представляет собой "сломанный" ген фермента синтеза аскорбиновой кислоты. У других приматов обнаружен точно такой же псевдоген, причем мутационная "поломка" у него *такая же*, как и в человеческом псевдогене. Причины: в связи с переходом предков современных приматов к питанию растительной пищей, богатой витамином С (фрукты), этот ген перестал быть необходимым.

(Например, у  
крысы) GULO является не  
псевдогеном, а работающим  
геном, и поэтому крысам не нужно  
получать витамин С с пищей: они  
синтезируют его сами.



*В группах млекопитающих,*  
*которые независимо от*  
*приматов перешли к питанию*  
*пищей, богатой витамином С,*  
*тоже произошла*  
*псевдогенизация гена GULO, но*  
мутации, выведшие ген из  
строя,



## Пост-транскрипционная регуляция работы генов.

"Несовершенство дизайна организмов"  
обнаруживается и на молекулярном уровне.

*Для отключения работы генов в клетках обычно используются белки-регуляторы, т.н. факторы транскрипции, не позволяющие создавать мРНК-копии с ДНК-матрицы.*

*Но часто это делается и так: клетка сначала синтезирует мРНК, тратя на это много энергии и ресурсов, а затем сразу уничтожает изготовленную молекулу!*

**При этом ферменты «нарочно» вставляют в нуклеотидную последовательность мРНК ошибки при транскрипции (например, преждевременные стоп-кодоны), чтобы уже очень давно существующая в клетке система контроля за «плохой» или «чужой» мРНК (nonsense-mediated mRNA decay (NMD)) не пропустила этот брак и уничтожила его.**

**Это хороший пример слепой работы отбора и эволюции – подбирать то полезное, что подвернулось сейчас, и в данном месте, а не то, что оптимальнее всего для выполнения данной цели. Просто отбор так действует: по принципу сейчас и дешевле (хотя может это и не лучше), а не потом, но лучше. Отбор не может ждать, и не обладает даром предвидения.**

**В каком-то смысле это напоминает работу плохого госаппарата. Но в отличие от него у эволюции - много времени и много попыток.**

## SR-гены сплайсинг-регуляторы (могут быть с альтернативными экзонами, несущими преждевременные стоп-кодоны)

