

# Макроэволюция: основные темы и направления

Изучение крупных эволюционных изменений, формирующих новое биологическое разнообразие.

# Эволюция как фундамент биологии



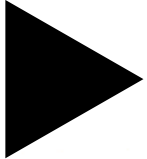
История эволюционной теории начинается с Ламарка и Дарвина, её развитие поддержали работы Менделя и синтетическая теория XX века, опираясь на палеонтологию и молекулярную биологию.



# Определение макроэволюции



Макроэволюция охватывает изменения, выходящие за пределы видового уровня, создавая новые таксоны выше вида — рода, семейства, отряды и классы.



Процессы сопровождаются значительными морфологическими сдвигами и перестройками экосистем, приводящими к возникновению принципиально новых форм жизни.



Длительное воздействие макроэволюционных факторов отражается в широких закономерностях и тенденциях развития биосферы на протяжении геологических эпох.

# Различия между микро- и макроэволюцией

- Микроэволюция — изменения внутри видов: генетическая изменчивость, естественный отбор и дрейф генов формируют вариации на популяционном уровне.
- Макроэволюция — масштабы выше видов, сопровождающиеся образованием новых таксонов, таких как птицы из пресмыкающихся, или разделением млекопитающих и рептилий.



# Основные законы макроэволюции

- ▶ Закон необратимости (Долло) утверждает, что эволюционные изменения не возвращаются к исходному состоянию организмов.
- ▶ Закон специализации обозначает рост специализированных признаков у потомков по сравнению с предками.
- ▶ Закон прогрессивного развития фиксирует тенденцию к усложнению организации живых существ с течением времени.
- ▶ Законы гетерохронии и адаптивной радиации объясняют изменение темпов развития и быстрое формирование новых видов после экологических изменений.

# Сравнение законов макроэволюции

| Закон                     | Определение                       | Пример                         | Автор      |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------|
| Закон Долло               | Необратимость развития            | Утрата крыльев у птиц Моа      | Л. Долло   |
| Закон специализации       | Рост специализированных адаптаций | Развитие хищнических зубов     | Т. Морган  |
| Закон прогрессивности     | Усложнение организации            | Развитие мозга у млекопитающих | Э. Геккель |
| Закон адаптивной радиации | Быстрое образование видов         | Вьюрки Галапагос               | Ч. Дарвин  |

Таблица демонстрирует основные законы, их определения, примеры проявления и авторов формулировок.

Энциклопедии и учебники биологии

Взаимодействие законов объясняет сложные тенденции макроэволюции.

# Закон Долло: необратимость эволюционных изменений

▶ Закон подтверждает, что эволюционные пути нельзя повторить в обратном направлении — структуры не возвращаются к прежнему состоянию.

▶ Пример — кетовая линия: полная адаптация к водной среде и утрата задних конечностей у китообразных.

▶ Аналогично, у змей исчезли конечности, а у кротов наблюдается сокращение зрительных органов из-за специализации на подземный образ жизни.

# Роль гетерохронии в макроэволюции

- Гетерохрония — вариации во времени и темпах развития органов во внутриутробном и постэмбриональном периодах, приводящие к морфологическим новшествам.
- Например, неотения у саламандр — сохранение личиночных черт во взрослом состоянии способствует возникновению новых адаптивных стратегий и линий эволюции.



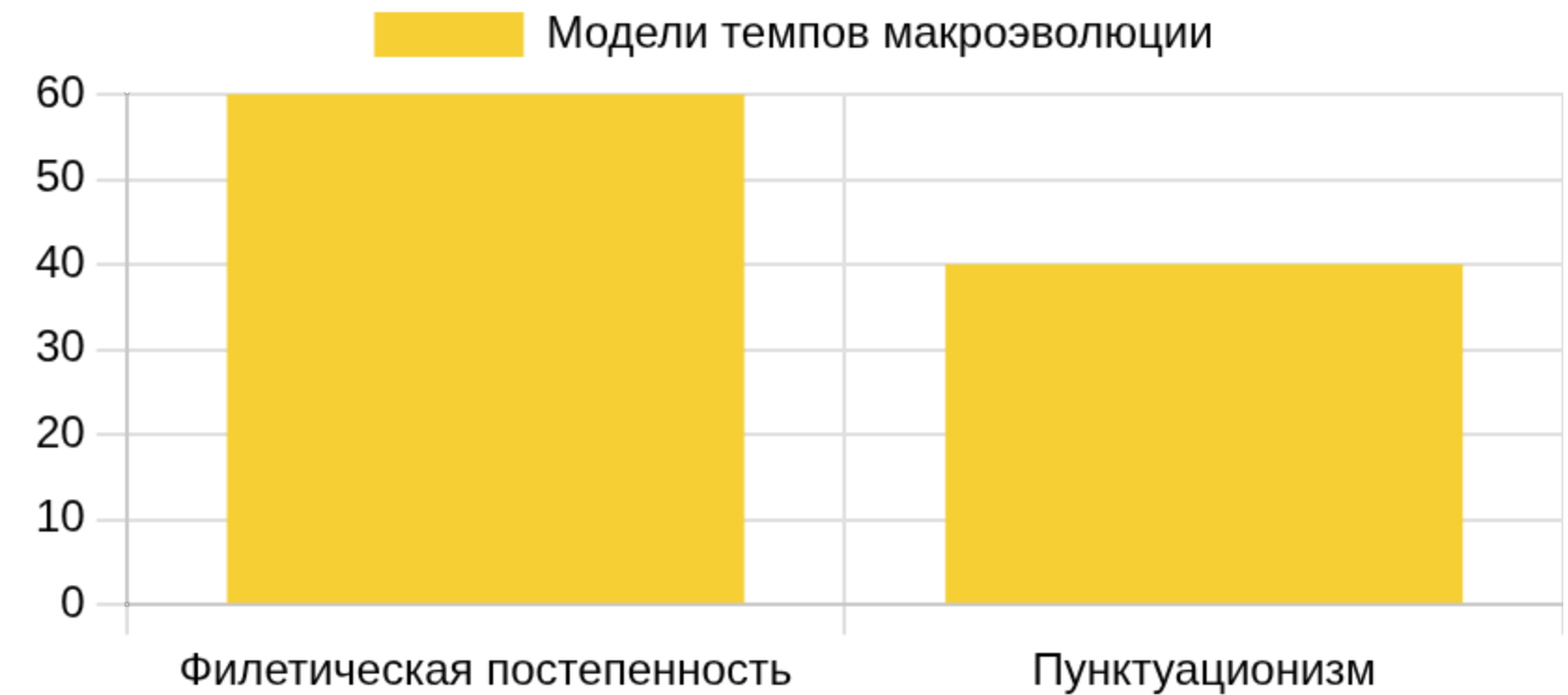
# Адаптивная радиация: механизмы и примеры

- ▶ Адаптивная радиация — быстрое размножение видов из одного предка на новых экологических нишах.
- ▶ После массового вымирания динозавров млекопитающие активно заселили разнообразные среды, что стимулировало их диверсификацию.
- ▶ Примером служат дарвиновские вьюрки, образовавшие разнообразие форм клюва на Галапагосских островах.
- ▶ Этот процесс подчеркивает важность экологических факторов и нововведений для эволюционного разнообразия.

# Темпы макроэволюции: постепенность и скачки

Палеонтологические данные демонстрируют сочетание медленных изменений и коротких периодов резкой эволюционной активности.

Объединение моделей объясняет наблюдаемые в ископаемом материале вариации темпов эволюции.



Палеонтологические исследования, 2023

# Движущие силы макроэволюции



Крупные экологические катастрофы, такие как извержения вулканов и падения астероидов, резко изменяют условия среды, вызывая массовое вымирание и смену доминирующих видов.



Появление новых адаптаций позволяет организмам быстро освоить освободившиеся экологические ниши, что способствует заметному расцвету видов и разнообразия.



Редкие, но значимые мутации, а также горизонтальный перенос генов ускоряют накопление изменений, формируя новые эволюционные линии и крупные биологические инновации.

# Важнейшие примеры макроэволюции



## Расцвет покрытосеменных растений

Покрытосеменные растения появились в Меловом периоде и стали ключевым элементом экосистем, благодаря цветкам и плодам, которые обеспечивают эффективное размножение и расселение. Это революционизировало растительный мир планеты.



## Происхождение млекопитающих

Формирование млекопитающих сопровождалось появлением волосяного покрова и заботы о потомстве. Эти признаки обеспечили повышение выживаемости, позволив освоить новые экологические ниши и сложные поведенческие стратегии.



## Выход позвоночных на сушу

Древние стегоцефалы перешли из водной среды на сушу, что потребовало преобразования конечностей в опорные и совершенствования дыхательной системы, позволивших колонизировать новые пространства и образовывать наземные экосистемы.

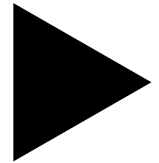
# Массовые вымирания в истории Земли

| Событие          | Время<br>(млн лет<br>назад) | %<br>исчезнувших<br>видов | Гипотезы<br>причин           |
|------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Конец пермского  | 252                         | ~90                       | вулканизм,<br>климат         |
| Конец мелового   | 66                          | ~76                       | удар метеорита,<br>вулканизм |
| Конец девонского | 359                         | ~70                       | климатические<br>изменения   |

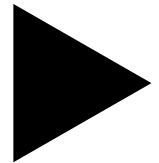
Основные массовые вымирания характеризуются временем, масштабом потерь видов и предполагаемыми причинами, что свидетельствует об их влиянии на эволюционные процессы.

Массовые вымирания открывали пути для быстрой диверсификации и эволюционных новшеств у переживших видов.

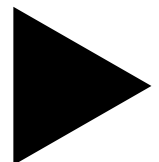
# Стабилизация и инновации в макроэволюции



Консерватизм в эволюции поддерживает устойчивость основных морфологических форм, обеспечивая стабильно функционирующие биологические системы у разных групп.



Совместно с этим возникают инновации — появление новых структур и функций, которые открывают новые экологические возможности и направления развития.



Примером служит общая структура позвоночного скелета, сохраняющаяся у рыб, птиц и млекопитающих, несмотря на их существенные функциональные и морфологические различия.

# Конвергентная эволюция — закономерность макроэволюции

## Обтекаемая форма тела у водных животных

Дельфины и вымершие ихтиозавры независимо обрели обтекаемую форму тела, повышающую скорость и маневренность в воде, что иллюстрирует адаптацию к сходным экологическим условиям несмотря на разное происхождение.



## Крылья у летучих мышей и птиц

Хотя летучие мыши и птицы принадлежат к разным классам, у них развиты крылья для полёта. Эта схожесть возникла независимо, подтверждая идею конвергентной эволюции в результате сходных потребностей.



# Биологический прогресс: критерии и примеры

- ▶ Рост численности и расширение ареала показывают успешность группы в освоении территории и ресурсной базы, что свидетельствует о биологическом прогрессе.
- ▶ Освоение новых сред обитания — ключевой фактор прогресса, позволяющий перейти к новым экологическим ролям и увеличивать разнообразие видов.
- ▶ Морфофизиологические усовершенствования обеспечивают повышение адаптивности, например, развитие цветков у растений или систем терморегуляции у млекопитающих.
- ▶ Примером служит быстрое расселение покрытосеменных и эволюционный расцвет млекопитающих после массовых вымираний из-за снятия конкурентного давления.

# Современные методы изучения макроэволюции

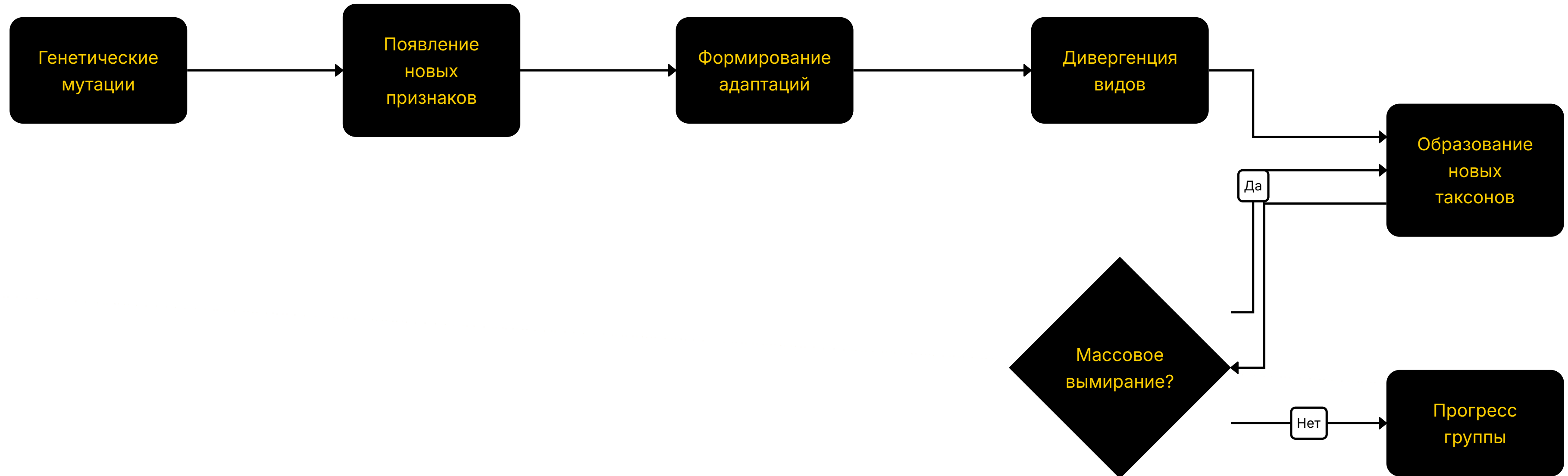
▶ Молекулярная филогенетика строит родственные связи организмов на основе анализа последовательностей ДНК и РНК, выявляя глубокие эволюционные отношения.

▶ Исследования древних геномов и применение биоинформатики расширяют понимание этапов эволюции и механизма возникновения новых признаков и таксонов.

▶ Палеонтология, выявляя переходные формы, подтверждает сложность и постепенный характер больших эволюционных преобразований на уровне макроэволюции.

# Последовательность событий в макроэволюции

От мутаций до появления новых таксонов — эволюционный процесс в схемах



# Значение макроэволюции для биосферы и человечества

- ▶ Макроэволюция определяет разнообразие видов и их распределение, формируя устойчивость и структуру экосистем, что важно для поддержания биосферы.
- ▶ Знания о макроэволюции служат основой для сохранения биоразнообразия и разработки эффективных природоохранных стратегий.
- ▶ Понимание этих процессов помогает оценить влияние человеческой деятельности на природу и спрогнозировать возможные изменения и угрозы.
- ▶ Изучение механизмов макроэволюции способствует обучению и развитию экологического мышления, необходимого для устойчивого развития общества.

# **Заключение и перспективы исследований макроэволюции**

Законы макроэволюции раскрывают фундаментальные принципы развития жизни, а современные исследования дают инструменты для глубокого понимания биологического разнообразия и решения практических задач в науке и экологии.