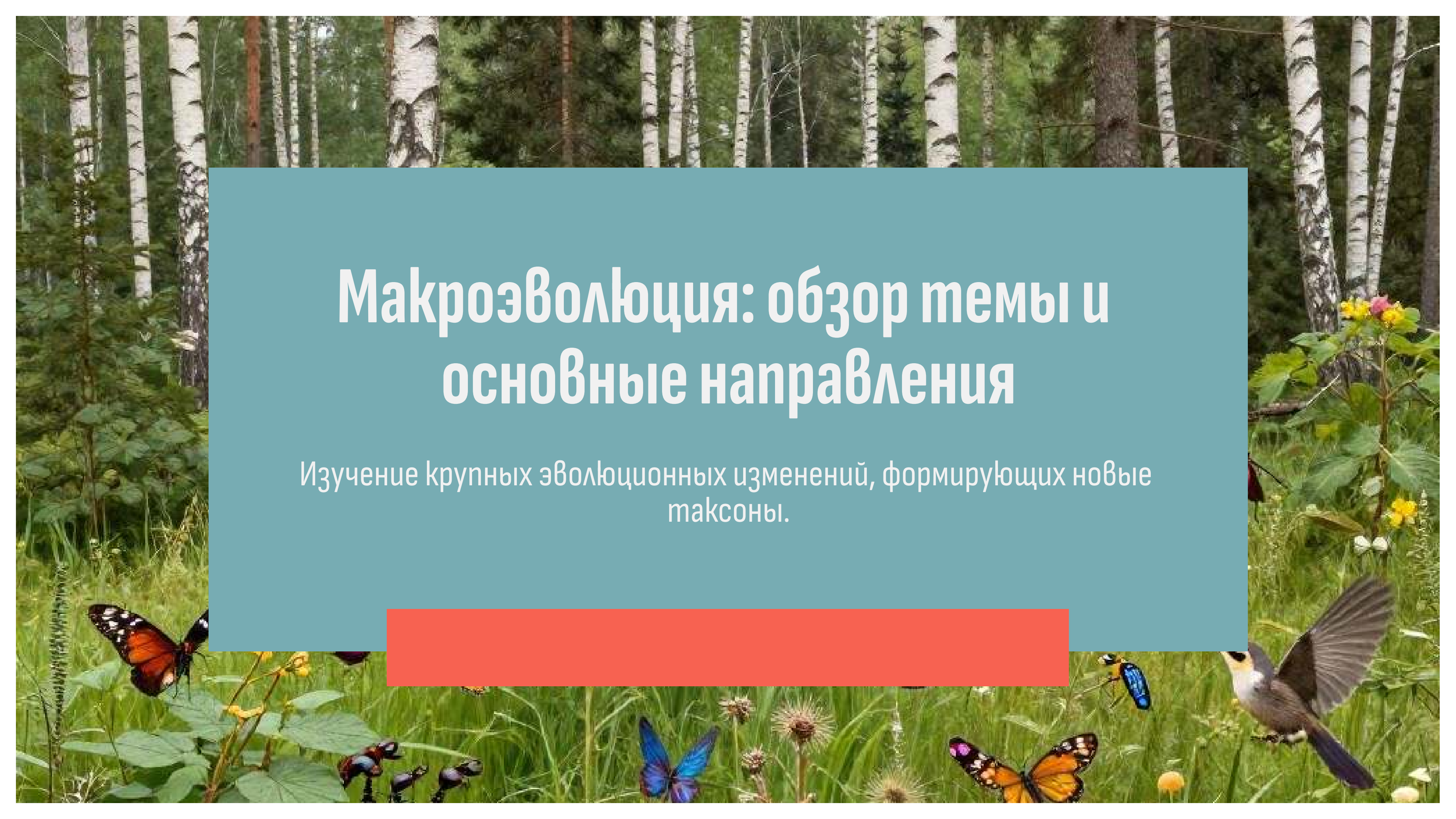


The background image is a lush forest scene. In the upper half, several birch trees with characteristic white bark and black lenticels stand against a backdrop of dense green foliage. A semi-transparent teal rectangle is overlaid on the middle of the image, containing the title and subtitle. Below this rectangle, a solid red rectangle is positioned. The lower half of the image shows a field of green plants with various butterflies (including orange and black ones) and a small bird in flight on the right side.

Макроэволюция: обзор темы и основные направления

Изучение крупных эволюционных изменений, формирующих новые таксоны.

Зарождение понятия макроэволюции в науке

Макроэволюция исследует формирование крупных таксонов и была выделена А.Н. Филипченко в 1927 году. Используются данные из разнообразных биологических дисциплин для понимания этих процессов.



Что изучает макроэволюция?

- Макроэволюция сосредоточена на таксонах выше видового уровня — рода, семейства, отряды и классы, включая формирование крупных групп организмов.

- Она анализирует процессы возникновения новых анатомических структур и жизненных стратегий, которые выходят за рамки микроизменений внутри видов.

- Примерами служат появление млекопитающих и развитие цветковых растений, отражающие глубокие эволюционные преобразования.

Процессы и механизмы макроэволюции

Адаптивная радиация — быстрое разнообразие видов, занявших новые экологические ниши после изменений среды.

Дивергенция — расходящееся развитие групп, приводящее к появлению различных форм с общим предком.

Конвергенция — сходство признаков у отдалённых родственных групп вследствие похожих условий жизни.

Возникновение новых анатомических и физиологических адаптаций, например, вторичный выход к воде у китообразных.

Филетические преобразования и кладогенез в макроэволюции

- Постепенные изменения в линии лошади

Филетическое преобразование проявляется в постепенной эволюции лошади с изменением строения конечностей и зубов.

- Расщепление эволюционной линии

Кладогенез — разделение линии на новые ветви; примером служит появление млекопитающих и птиц от рептилий.

- Формирование новых эволюционных групп

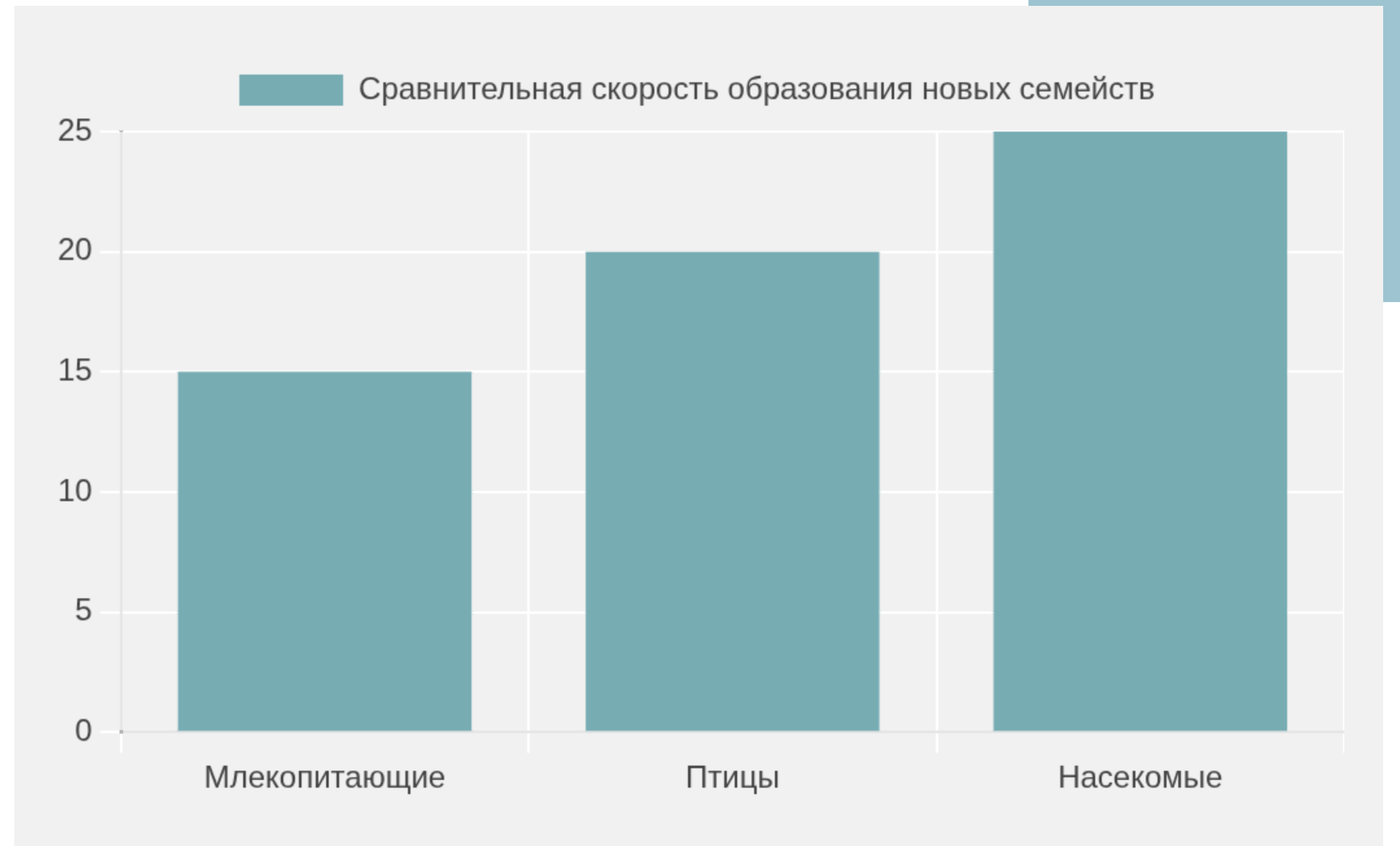
Кладогенез обеспечивает появление самостоятельных групп, адаптирующихся к разным экологическим условиям.

Скорости и хронология макроэволюции

Темпы макроэволюции существенно разнятся — от миллионов до десятков миллионов лет для формирования новых групп.

Высокая вариативность скоростей связана с экологическими и биологическими особенностями разных таксонов.

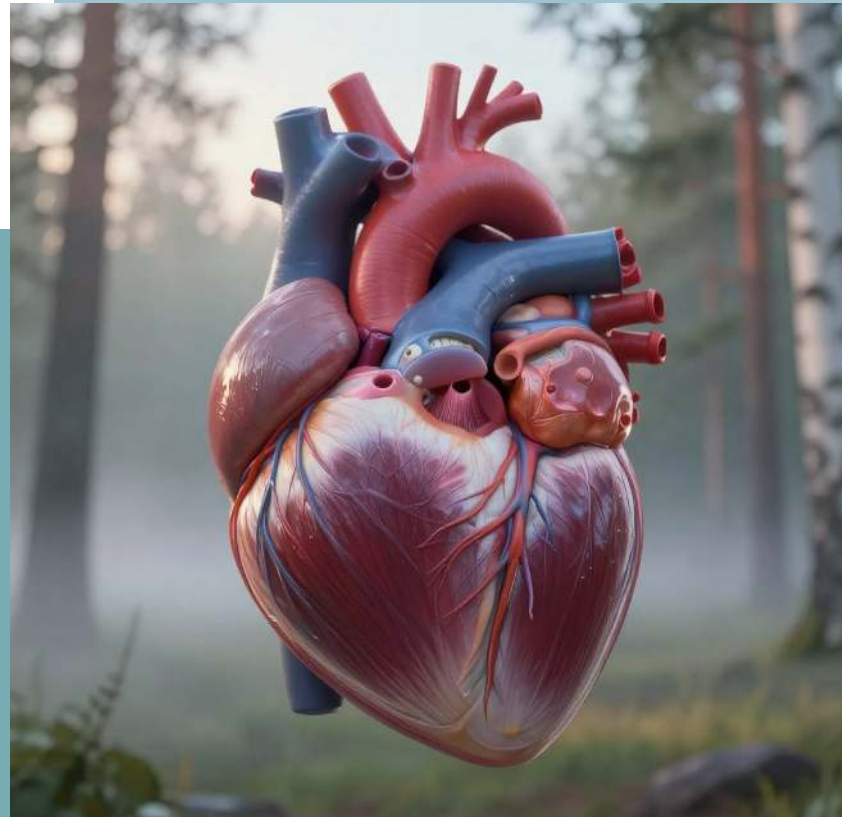
Исследования эволюционной биологии, 2023



Эволюционные инновации — ключевые изменения



Появление перьев у динозавров
Появление перьев открыло путь к развитию птиц, резко расширив возможности тероподов для терморегуляции и полёта.



Четырёхкамерное сердце у млекопитающих
Эта структура улучшила кровообращение, обеспечив высокий обмен веществ и активный образ жизни.



Возникновение цветка у покрытосеменных
Цветок позволил эффективное размножение, расширив распространение растений и их биологические связи.



Формирование хитинового покрова у членистоногих
Хитиновый покров обеспечил защиту и опору, способствуя успешной колонизации суши и разнообразию видов.

Генетические предпосылки макроэволюции

Внедрение массивных изменений в геноме может привести к появлению новых признаков и функций у организмов.

Крупные мутации



Дупликации и делеции создают вариации в ДНК, способствуя эволюционным инновациям и адаптациям.

Перестройки генома



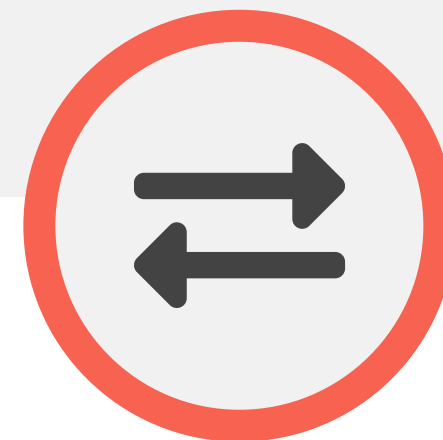
Объединение генетического материала разных видов — ключевой процесс формирования митохондрий и хлоропластов.

Симбиогенез



Перемещение генов между организмами увеличивает генетическое разнообразие и адаптивные возможности.

Горизонтальный перенос генов



Изменение числа хромосом становится источником быстрого эволюционного разнообразия, особенно у растений.

Полиплоидия и гаплоидизация



Сравнение микро- и макроэволюции

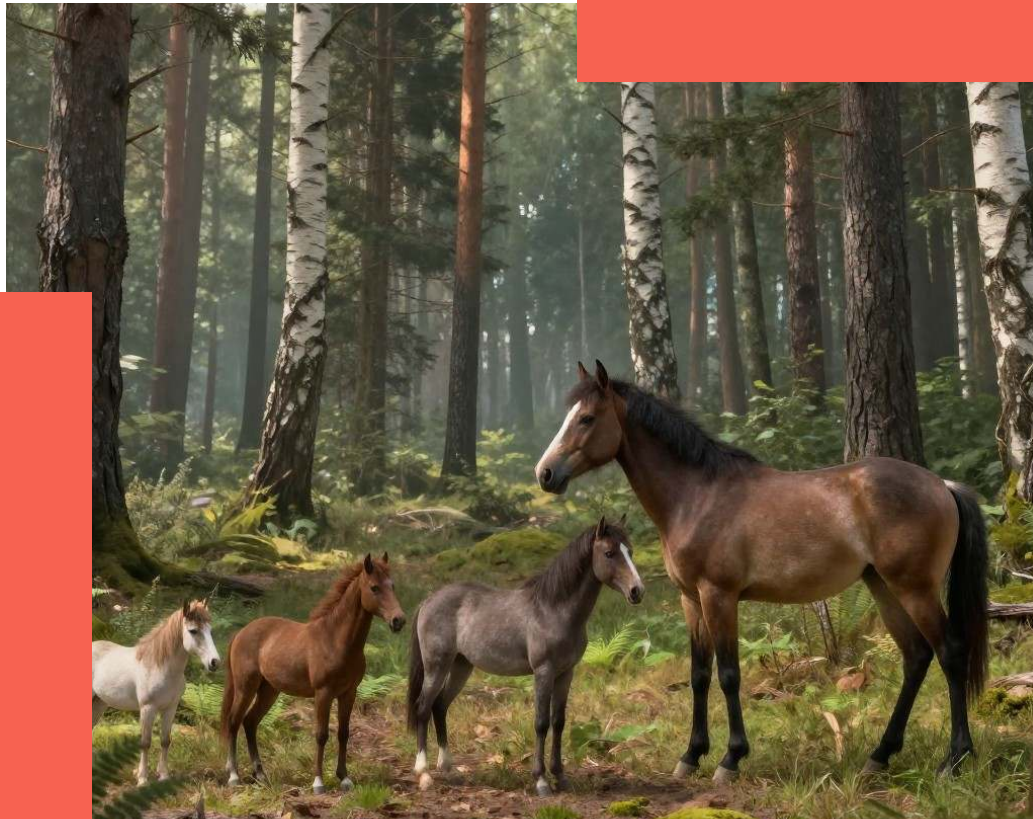
Основные различия в масштабах, характеристиках и продолжительности процессов эволюционных изменений.

Макроэволюция охватывает длительные и масштабные преобразования, преодолевающие границы вида.

Учебники по эволюционной биологии

Критерий	Микроэволюция	Макроэволюция
Масштаб	Внутри вида	Выше уровня вида
Характер изменений	Незначительные, постепенные	Глубокие, морфологические
Время	Годы — тысячелетия	Миллионы лет

Палеонтологические ряды: свидетельства макроэволюции



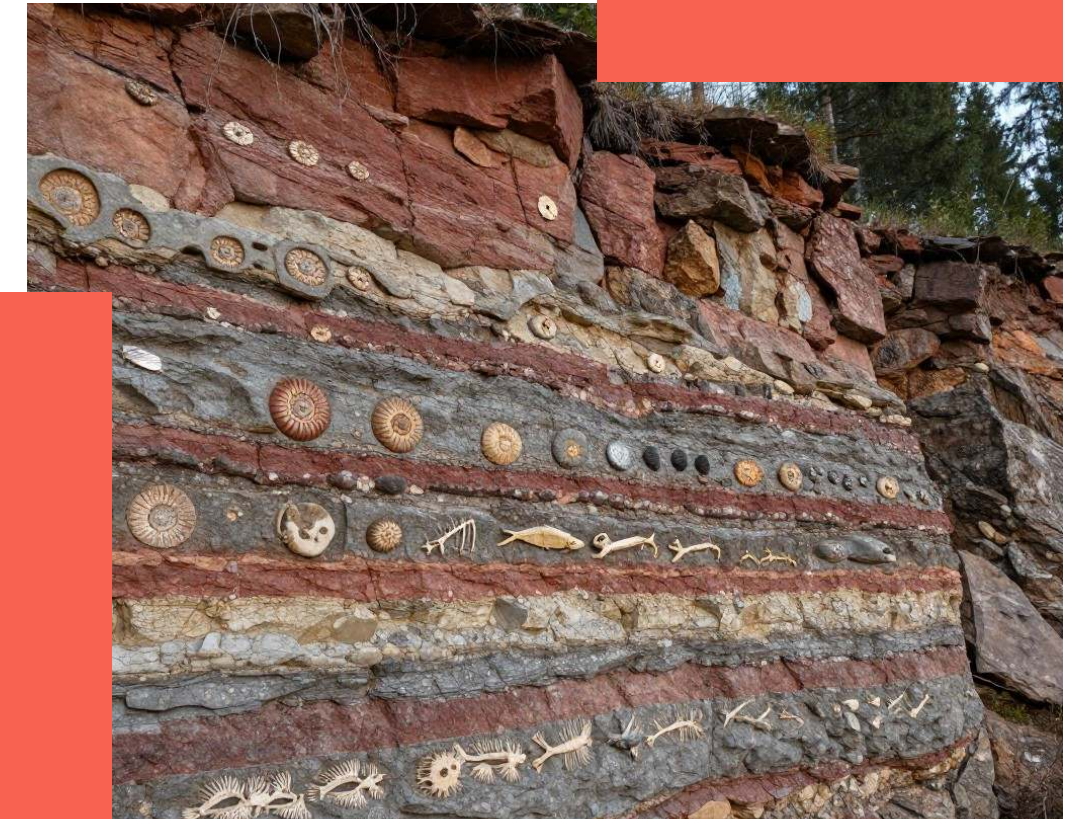
Эволюция лошади

От мелкого лесного *Eohippus* с четырьмя пальцами до современного *Equus* — последовательные изменения подтверждают постепенное развитие линии.



Археоптерикс — переходный организм

Обладая признаками динозавров и птиц, Археоптерикс подтверждает цепочку возникновения новых таксонов на уровне класса.

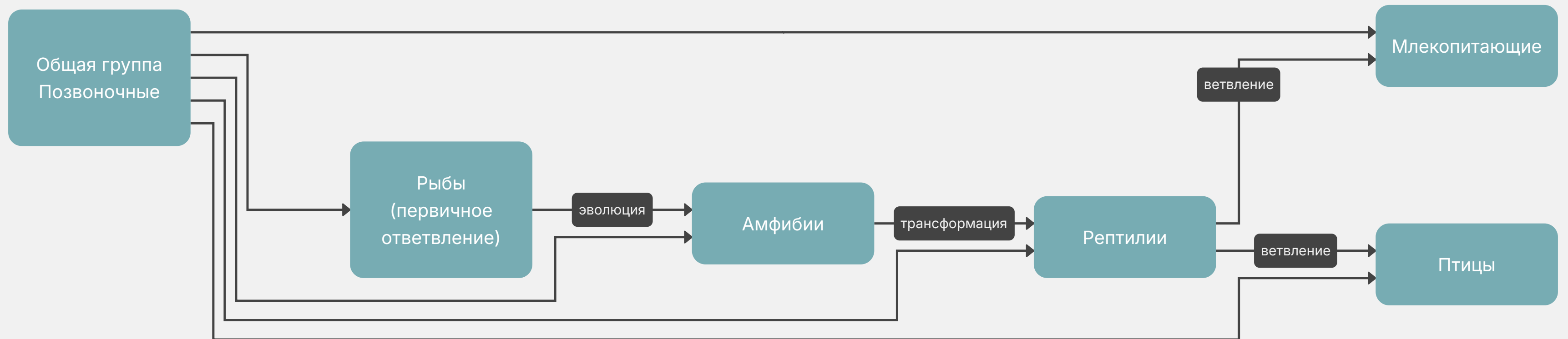


Промежуточные формы в слоях горных пород

Нахождение ископаемых с постепенными морфологическими изменениями указывает на этапность макроэволюционных процессов.

Филогенетические деревья как инструмент макроэволюции

Основание на морфологических, анатомических и молекулярных данных для построения эволюционных связей



Кембрийский взрыв: быстрые макроэволюционные изменения



Стремительное появление флоры и фауны

В ходе кембрийского взрыва за примерно 20 миллионов лет возникло большинство основных типов животных, среди которых трилобиты и первые хордовые. Этот период ознаменовал начало сложных биоразнообразных экосистем.



Новые формы жизни и их особенности

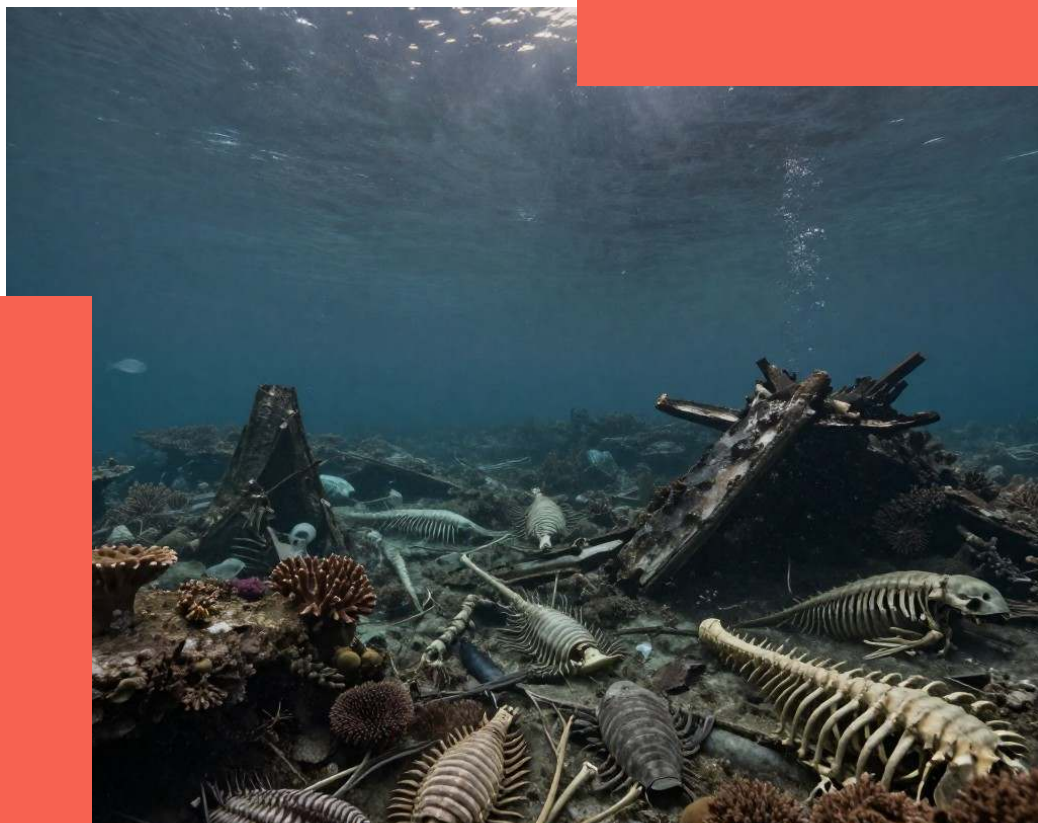
Появились организмы с твердыми скелетами, что способствовало их лучшей сохранности в ископаемом состоянии и облегчило изучение эволюционных последовательностей.



Факторы, стимулировавшие быстрые изменения

Рост концентрации кислорода в атмосфере, генетические инновации и свободные экологические ниши создали условия для стремительного развития новых биологических форм.

Массовые вымирания и их роль в макроэволюции



Пермское вымирание: глобальная катастрофа

Около 252 миллионов лет назад более 90% морских видов исчезли, что создало условия для коренной перестройки экосистем и открытие новых эволюционных возможностей.



Меловое вымирание: конец эпохи динозавров

66 миллионов лет назад массовое вымирание привело к исчезновению большинства динозавров, что дало толчок развитию млекопитающих и птиц.



Освобождение экологических ниш и адаптивная радиация

После катастрофы многие экологические ниши освободились, что вызвало быстрое разнообразие новых групп организмов, занявших освободившиеся места в экосистемах.

Последовательные изменения: пример лошади

Палеонтологические данные показывают постепенные изменения у лошадей от четырехпалого *Eohippus* к современному однопалому *Equus*. Это отражается в перестройке конечностей и зубов по слоям ископаемых.

Датировка осадочных пород позволяет установить хронологию изменений, подтверждая эволюционный процесс с постепенной адаптацией к жизни в открытых пространствах и смене рационов питания.



Гомологии как свидетельство макроэволюции

- Гомологичные структуры имеют общее происхождение, но могут выполнять разные функции, что свидетельствует о дивергенции от общего предка. Например, скелет руки человека и крыла птицы схож строением.

- Исследования гомологий помогают проследить эволюционные связи между таксонами, что способствует пониманию механизма формирования новых групп и выявлению их родственных отношений.



Биогеография: подтверждение дивергенции

Распределение видов по разным континентам отражает их историческую изоляцию и независимый эволюционный путь, что подтверждает дивергенцию на макроуровне.

Пример сумчатых в Австралии и Южной Америке демонстрирует, как разделение континентов привело к формированию сходных адаптаций у удалённых групп из общего предка.

Изучение биогеографических закономерностей позволяет восстановить миграционные маршруты и эволюционные связи крупных таксонов, дополняя данные палеонтологии и филогенетики.

Молекулярные часы и временные рамки дивергенции

Молекулярные часы используют скорость накопления мутаций в генах, чтобы оценить время расхождения между эволюционными линиями.

Согласно расчетам, предки человека и шимпанзе отделились примерно 5–7 миллионов лет назад, что согласуется с палеонтологическими данными.

Расхождение между птицами и млекопитающими датируется около 300 миллионов лет назад, что отражает глубокое разделение в позвоночных.

Эти данные служат инструментом проверки эволюционных гипотез и уточнения хронологии крупных событий в истории жизни.

3,5 млрд лет

таков возраст жизни на Земле, за который макроэволюция сформировала огромное разнообразие биологических форм и адаптаций.

Макроэволюция раскрывает фундаментальные механизмы происхождения новейших биологических инноваций и биоразнообразия, важные для медицины и экологии.

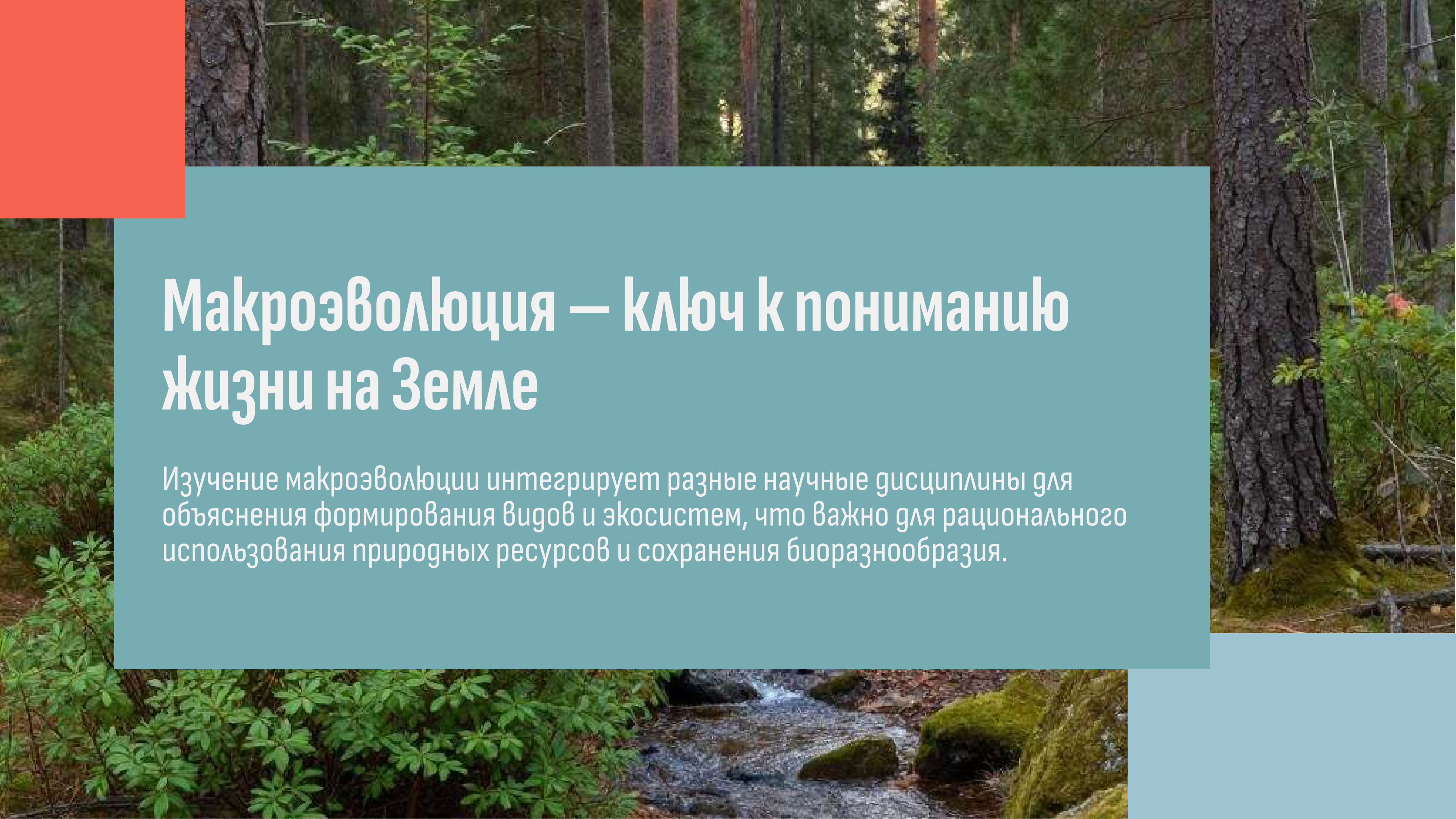
Научные исследования по эволюционной биологии

Ограничения и дискуссии в изучении макроэволюции

Ископаемая летопись неполна, что затрудняет реконструкцию полной картины эволюции и приводит к пробелам в данных.

Обсуждается характер темпов эволюции: постепенный градуализм или прерывистое равновесие с быстрыми изменениями и длительными паузами.

Роль конвергентной эволюции и случайных факторов усложняет выделение достоверных эволюционных линий и их интерпретацию.

The background of the slide is a photograph of a forest. In the upper half, there are tall, thin tree trunks and green foliage. In the lower half, there is a small stream flowing over rocks, surrounded by lush green plants and moss. A large teal rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing the title and subtitle text. A solid red rectangle is in the top-left corner.

Макроэволюция — ключ к пониманию жизни на Земле

Изучение макроэволюции интегрирует разные научные дисциплины для объяснения формирования видов и экосистем, что важно для рационального использования природных ресурсов и сохранения биоразнообразия.