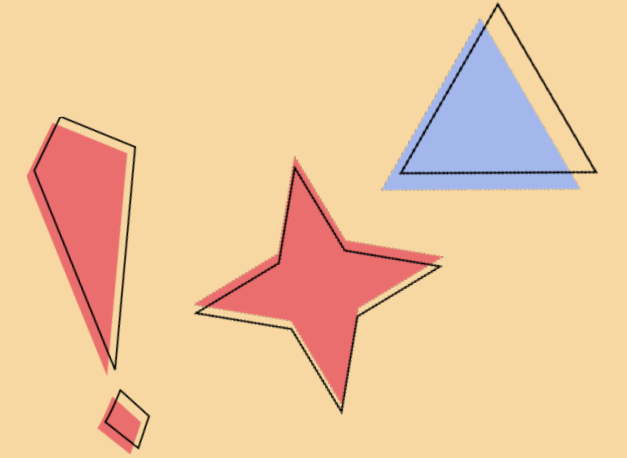




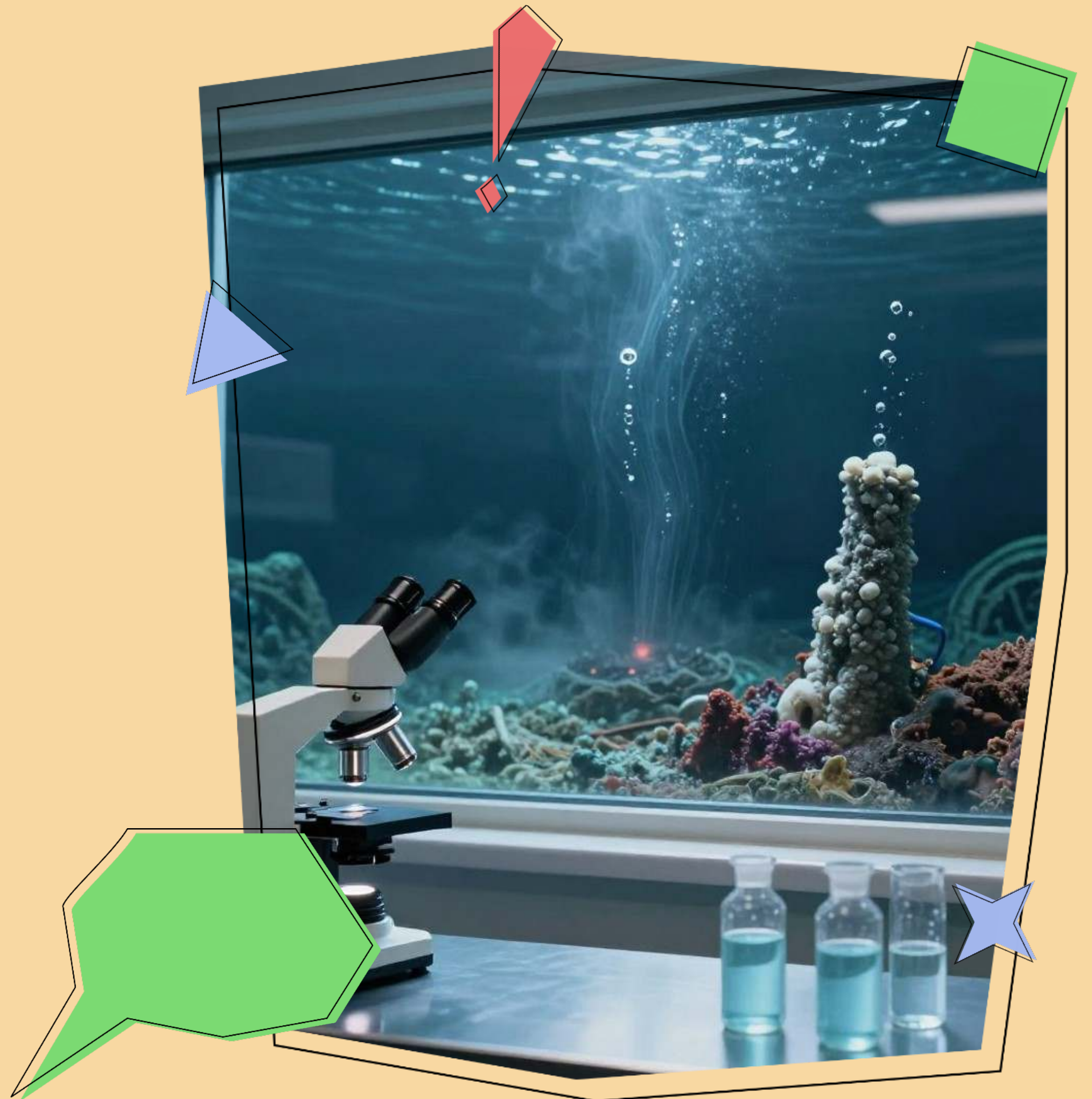
Происхождение жизни на Земле: основные вопросы и научные гипотезы

От химии к жизни: как возникли первые системы?

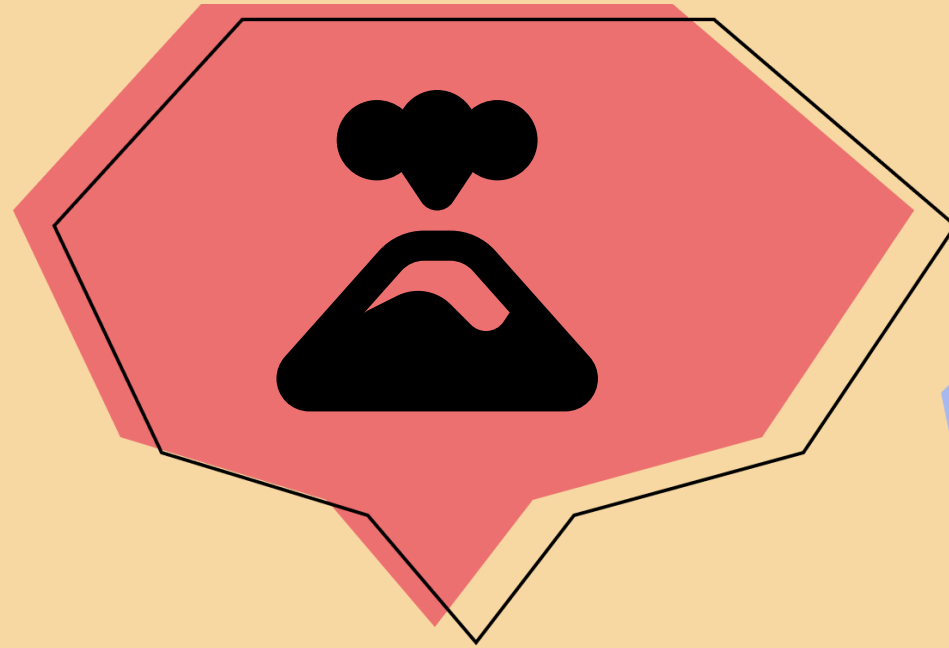


Как наука изучает начало жизни

Первые этапы возникновения жизни нельзя наблюдать напрямую, поэтому исследователи сопоставляют данные геологии, химии, биохимии и палеонтологии, чтобы восстановить переход от неживой материи к биологическим системам.

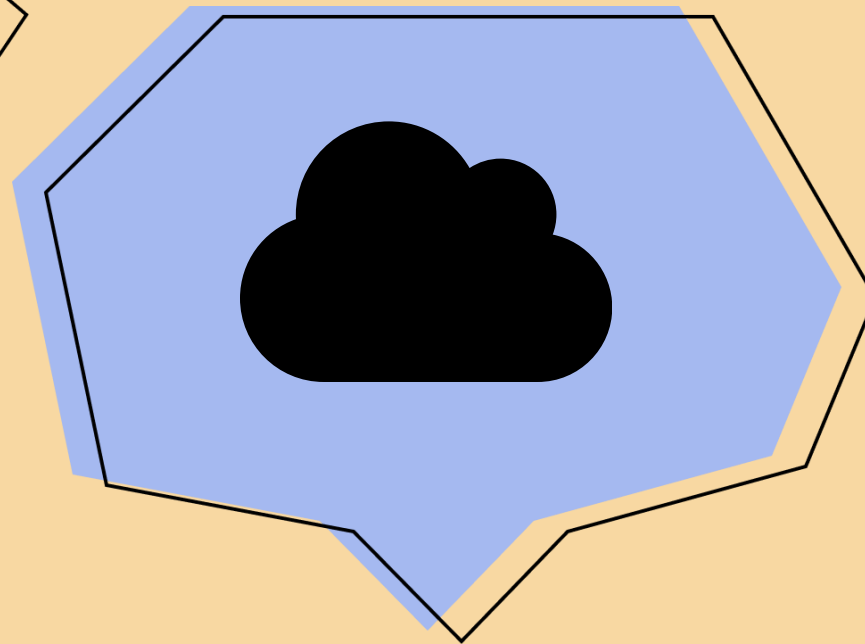
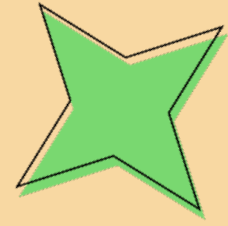


Условия на ранней Земле



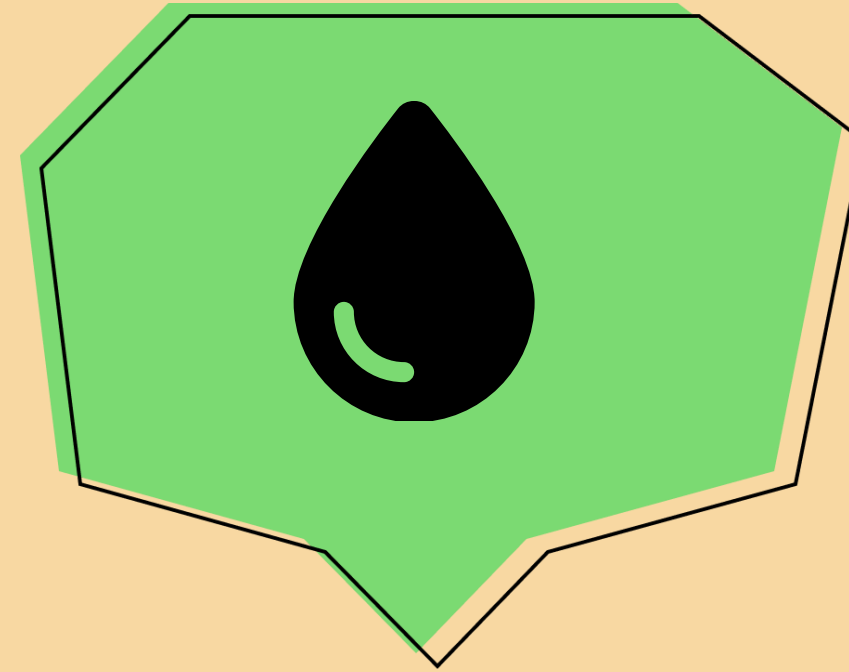
Активная планета

Молодая Земля была значительно более горячей, чем сегодня: частые извержения, удары метеоритов и высокая поверхностная температура постоянно изменяли ландшафт и создавали нестабильную, но химически активную среду.



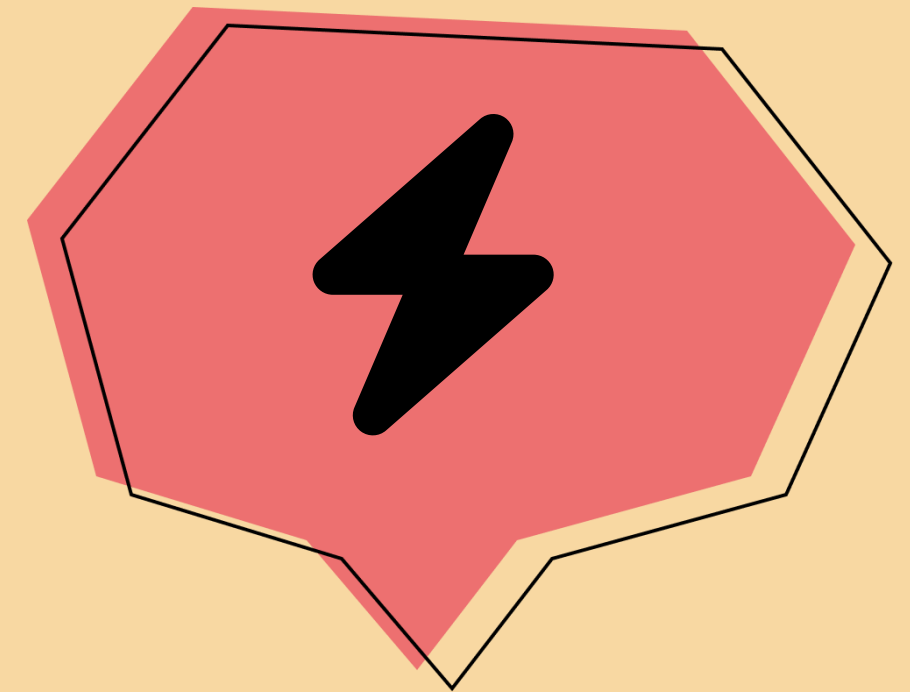
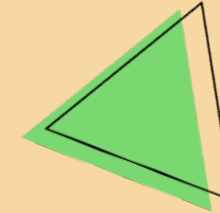
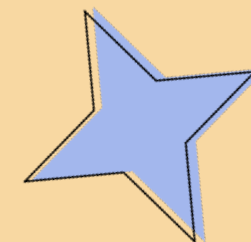
Состав атмосферы

Вероятная атмосфера содержала водяной пар, углекислый газ и азот, а также небольшие количества метана и аммиака, которые могли участвовать в синтезе простых органических соединений.



Появление воды

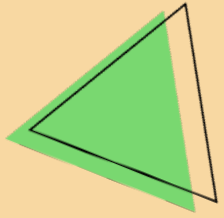
Жидкая вода возникла очень рано и стала важнейшей средой для растворения веществ, их перемешивания и последующего накопления продуктов химических реакций в древних океанах.



Источник энергии

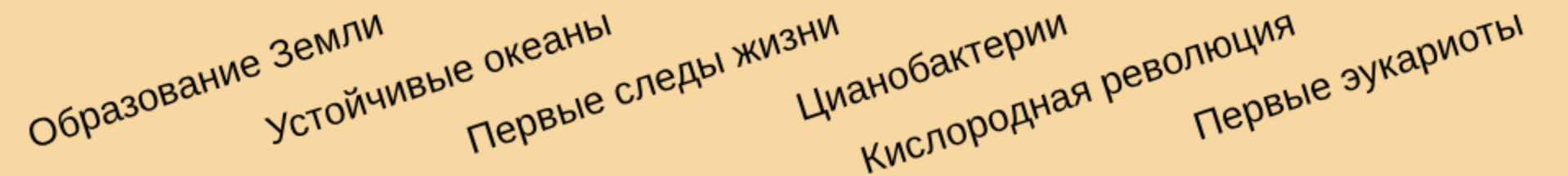
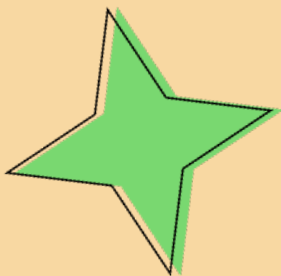
Солнечное излучение, электрические разряды, вулканизм и гидротермальная активность обеспечивали энергию, необходимую для образования новых молекул и поддержания сложных химических превращений.

Хронология основных этапов развития жизни

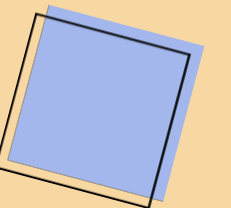
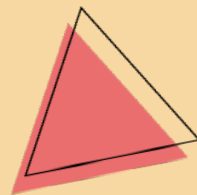


Переход от геохимических условий к биосфере занял более двух миллиардов лет и включал несколько качественных скачков, а не один мгновенный «момент рождения».

Сначала сформировалась пригодная среда, затем появились микробные формы жизни, после чего фотосинтез и рост кислорода открыли путь к усложнению организмов.



Обобщение по данным геологии и палеобиологии; даты приведены по принятой в учебной литературе хронологии.



Химическая эволюция как путь к жизни

1. Простые молекулы

В древней среде могли образовываться базовые органические соединения — предшественники биомолекул. Их появление не означает жизнь, но создает химический «запас сырья» для дальнейших превращений.

2. Накопление и усложнение

Если вещества не разрушаются слишком быстро, они накапливаются и вступают в новые реакции. Так возрастает вероятность появления более сложных соединений, способных к структурной организации.

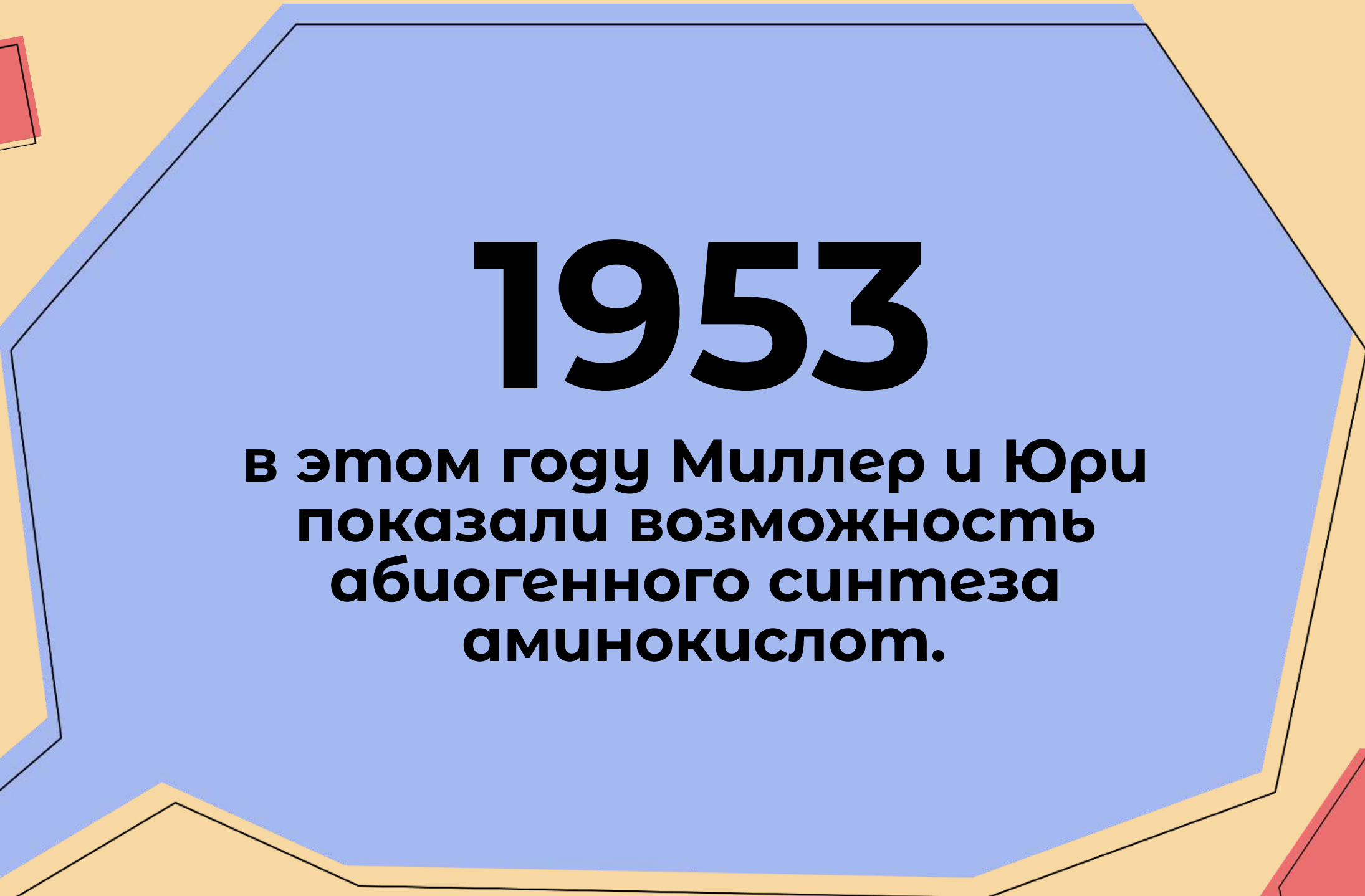
3. Полимеры и мембраны

Следующий шаг — образование цепочек и самоорганизующихся оболочек. Полимеры могут хранить информацию, а липидные структуры создают отдельное пространство, где реакции идут более устойчиво.

4. Самокатализ и отбор

Когда некоторые молекулярные системы начинают ускорять собственное образование, возникает примитивная конкуренция между вариантами. Это уже приближает химическую систему к биологической эволюции.

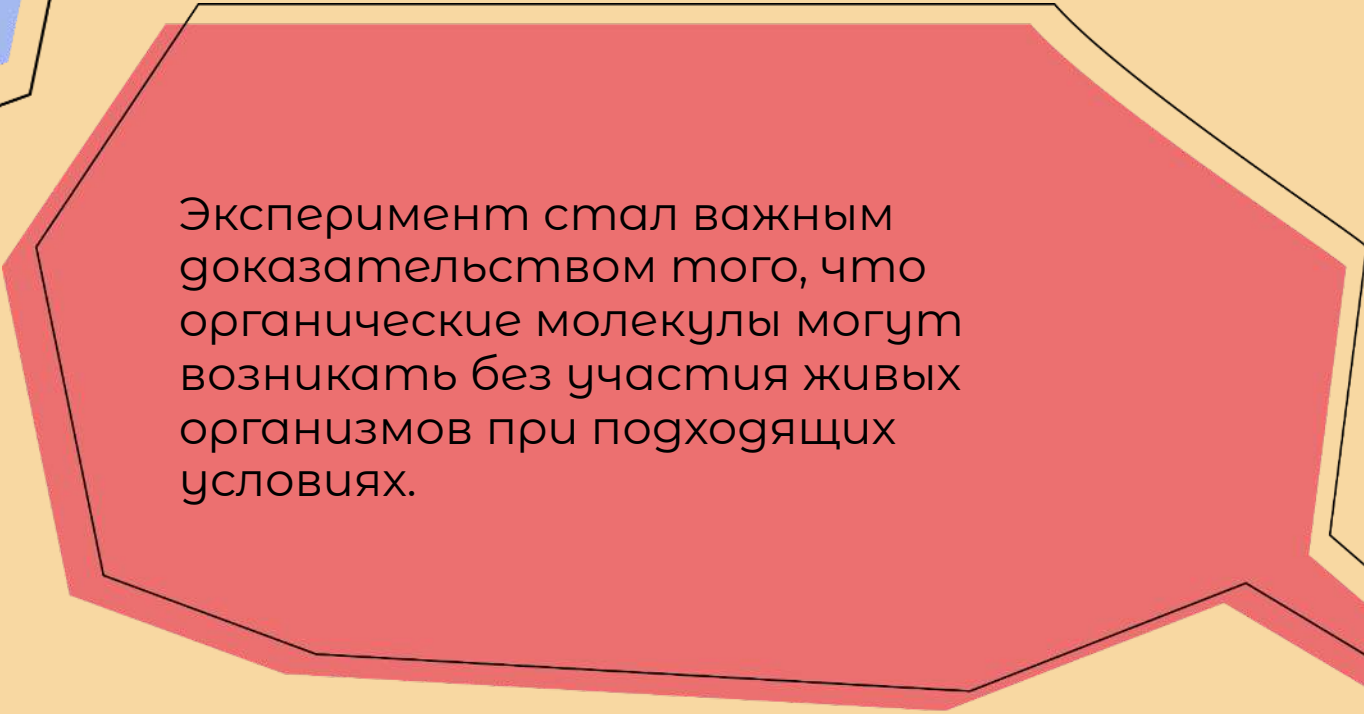




1953

**В этом году Миллер и Юри
показали возможность
абиогенного синтеза
аминокислот.**

S. L. Miller, H. C. Urey, Science, 1953.



Эксперимент стал важным
доказательством того, что
органические молекулы могут
возникать без участия живых
организмов при подходящих
условиях.

Основные строительные блоки живого

Аминокислоты

Это мономеры белков, а значит — основа ферментов, структурных белков и многих клеточных процессов. Без аминокислот невозможно построение сложных молекулярных машин живой клетки.

Нуклеотиды

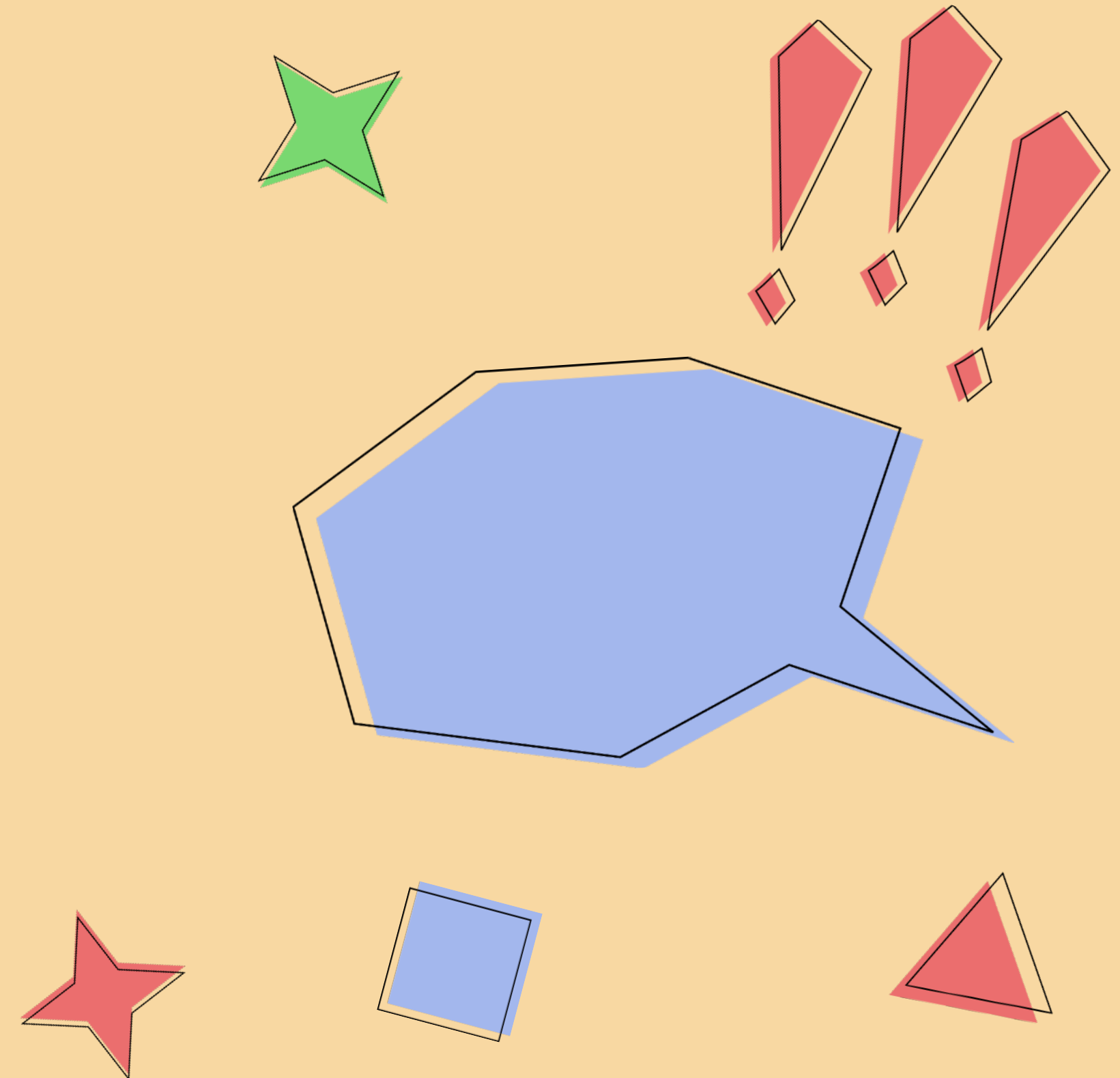
Из них состоят ДНК и РНК, то есть молекулы, отвечающие за хранение и передачу наследственной информации. Именно они связывают химическую эволюцию с появлением наследования.

Простые сахара

Сахара участвуют не только в энергетическом обмене, но и в построении более сложных биомолекул. Они могли играть важную роль в раннем обмене веществ.

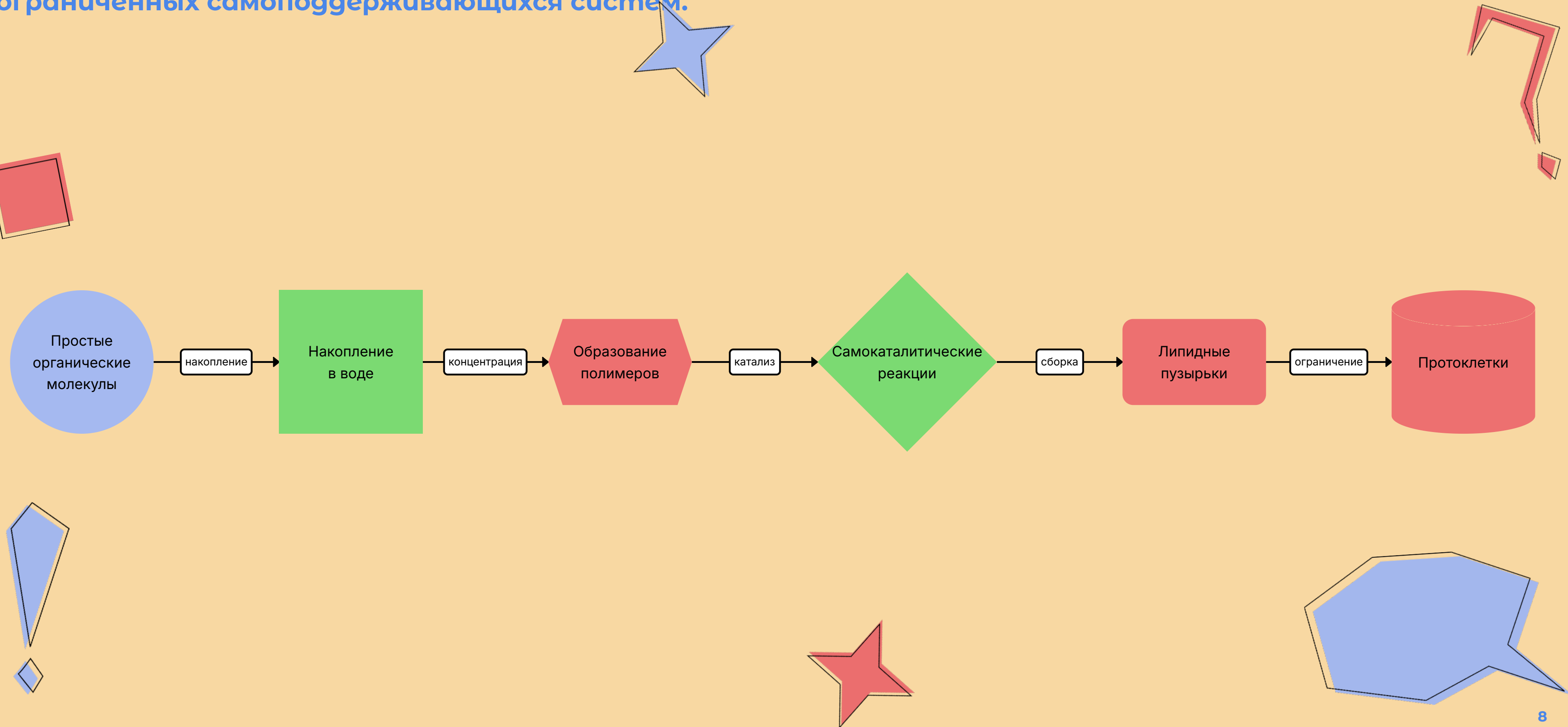
Липиды

Липиды легко образуют оболочки и пузырьки, изолирующие внутреннюю среду. Эта способность делает их ключевыми для формирования примитивных клеточных границ и устойчивых систем.



От простых молекул к протоклетке

Схема отражает общий сценарий химической эволюции: от накопления органики до появления ограниченных самоподдерживающихся систем.

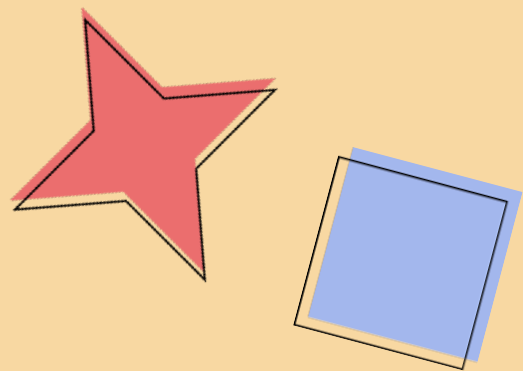


Гипотеза мира РНК

1.

Двойная роль РНК

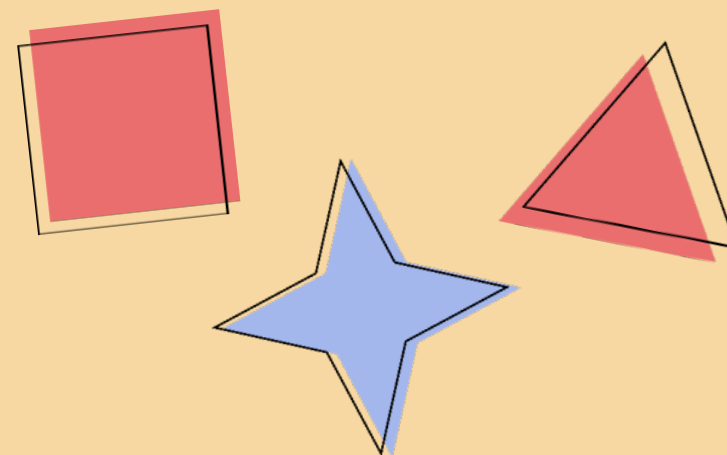
РНК особенно интересна тем, что может хранить информацию и одновременно участвовать в каталитических реакциях. Это делает ее удобным кандидатом на роль раннего молекулярного «универсала».



2.

Рибозимы

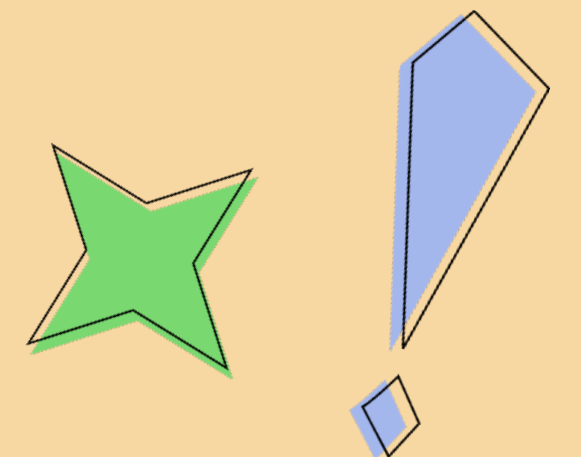
Открытие рибозимов показало, что РНК способна не только передавать сведения, но и ускорять реакции. Тем самым у гипотезы появился реальный экспериментальный фундамент.



3.

Главная трудность

Самый сложный вопрос — как в природных условиях могли образоваться стабильные нуклеотиды и как они смогли самособраться в достаточно устойчивые цепи.



Сравнение основных гипотез происхождения жизни

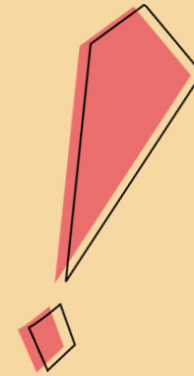
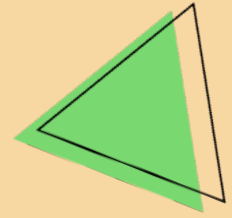


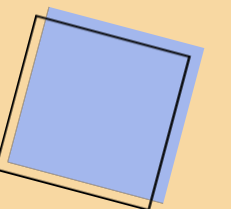
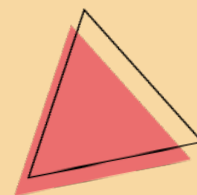
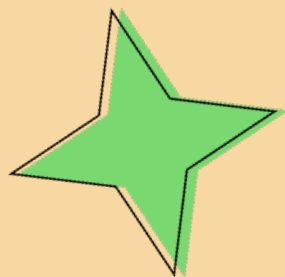
Диаграмма показывает не «доли истины», а то, какие объяснительные модели чаще обсуждаются в научной литературе.

Наиболее сильные гипотезы дополняют друг друга: каждая объясняет часть процесса, но ни одна пока не закрывает все вопросы.

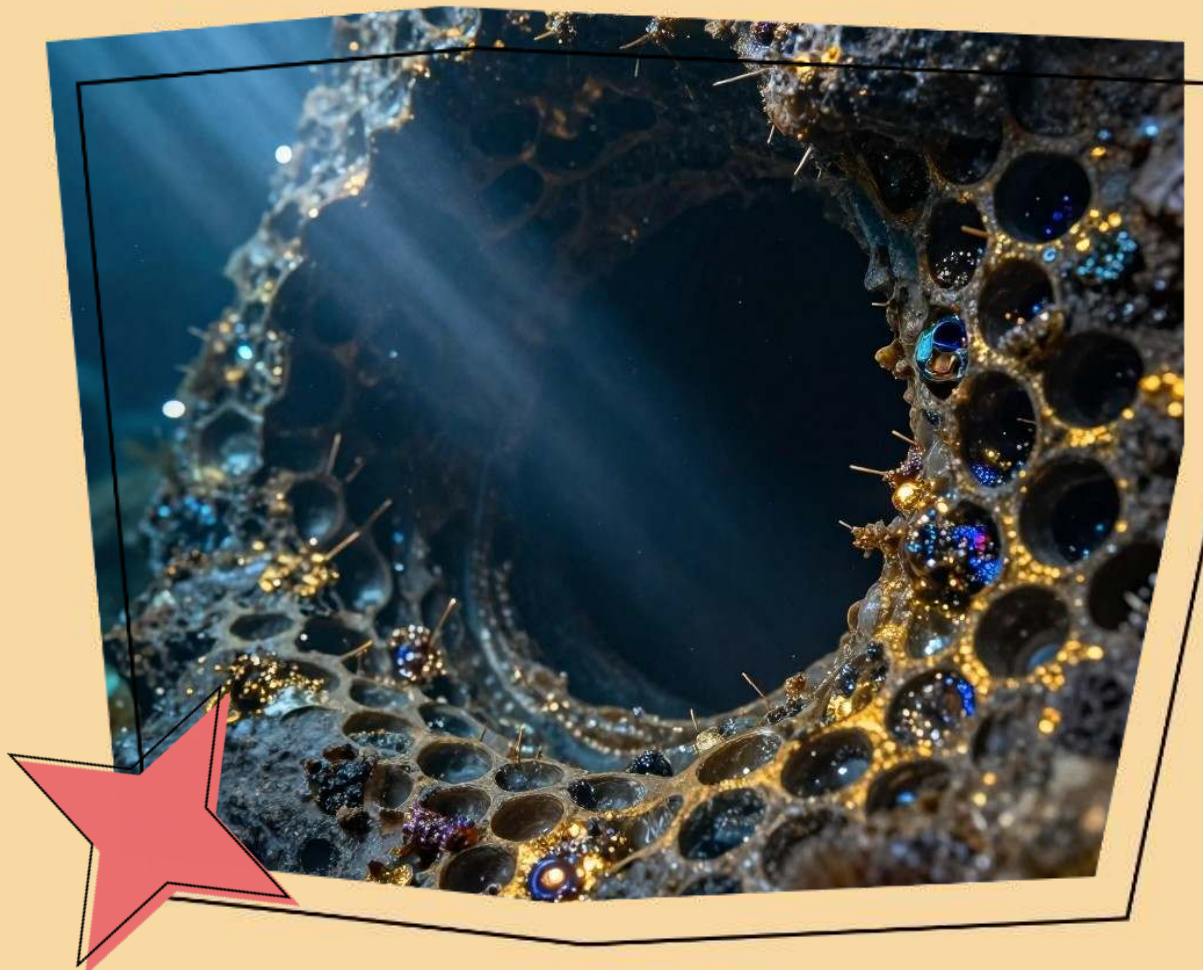
Мир РНК Гидротермальные источники
Метаболизм сначала Панспермия



Условное экспертное сопоставление по обзорным публикациям по происхождению жизни; значения диаграммы концептуальные.

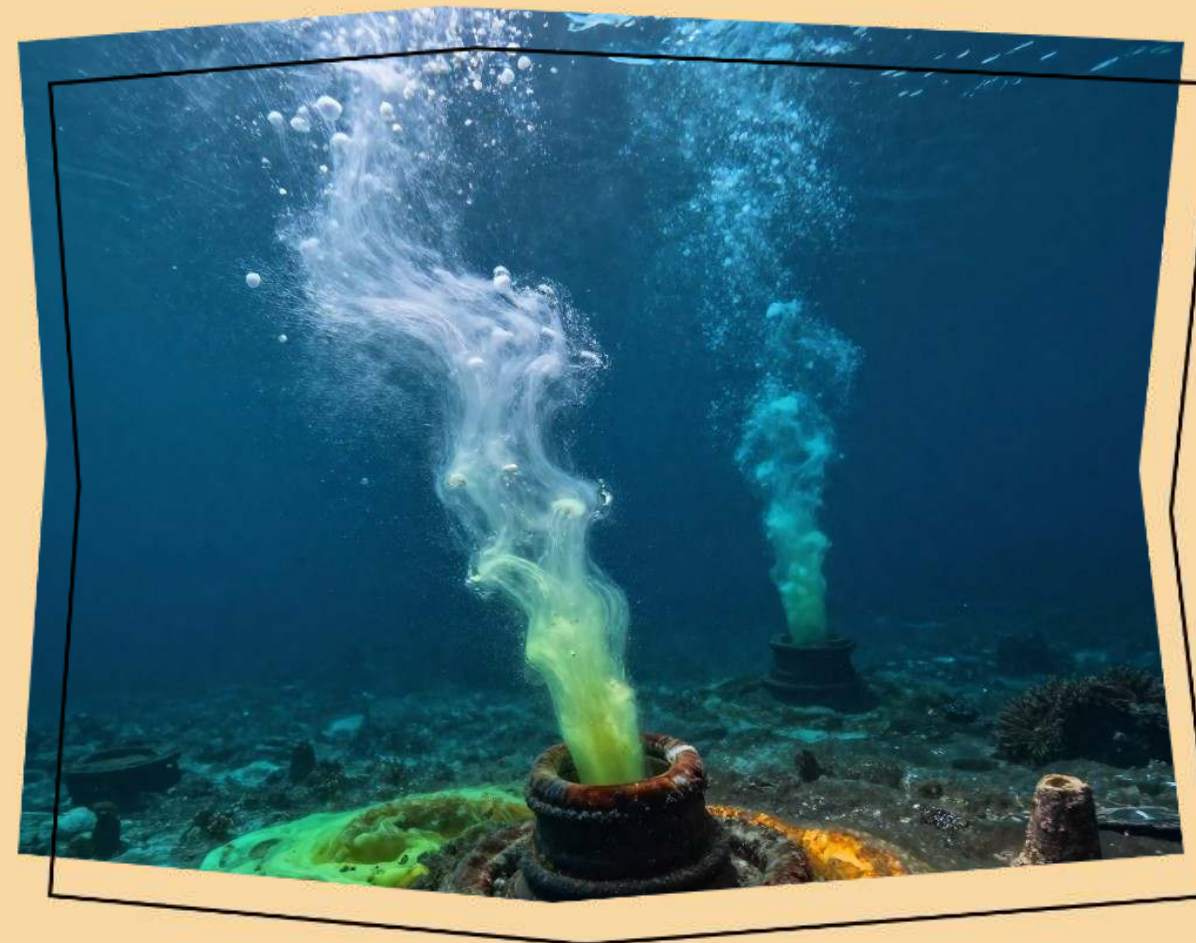


Гидротермальные источники: подводные лаборатории ранней Земли



Тепло, минералы и узкие поры

На дне древнего океана горячая вода поднималась через трещины, обогащая среду соединениями железа и серы. Внутри минерализованных микрополостей могли накапливаться вещества, а природные градиенты создавали условия для их химических превращений.



Щелочной контраст как источник энергии

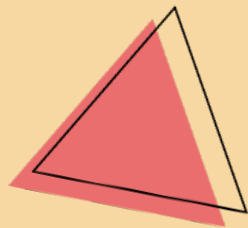
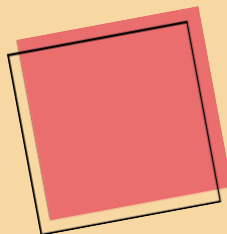
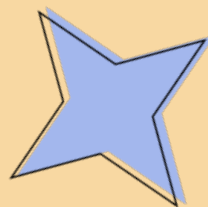
В щелочных гидротермальных системах вода из недр встречалась с более кислой морской водой. Такой контраст pH мог поддерживать перенос ионов и запускать реакции, похожие на примитивный энергетический обмен.



Где химия превращается в систему

Сеть каналов, пузырьков и пор в породе напоминает естественный реактор. Именно такое ограниченное пространство могло удерживать реагенты рядом друг с другом достаточно долго, чтобы возникли устойчивые цепочки синтеза и первые протоклеточные структуры.

Сильные стороны и ограничения основных гипотез

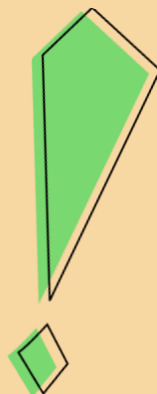
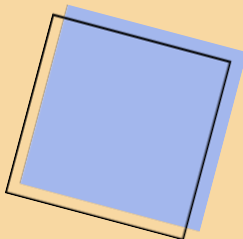
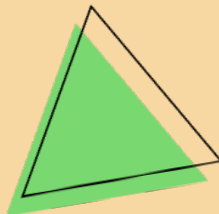


Гипотеза	Идея	Сильная сторона	Трудность
Мир РНК	Наследование и катализ	Объединяет две функции	Сложен синтез РНК
Гидротермальные источники	Минералы и энергия	Есть естественная среда	Нет генетического кода
Метаболизм сначала	Химические циклы	Понятен обмен веществ	Неясно наследование
Панспермия	Перенос органики	Объясняет доставку молекул	Не решает происхождение жизни

Сравнение показывает, что каждая гипотеза объясняет лишь часть картины происхождения жизни.

Наиболее убедителен не один сценарий, а сочетание нескольких механизмов: химия, среда, энергия и последующее наследование.

Обобщение научных гипотез по теме происхождения жизни



Как мембрана изменила ход химической эволюции

Граница внутреннего и внешнего

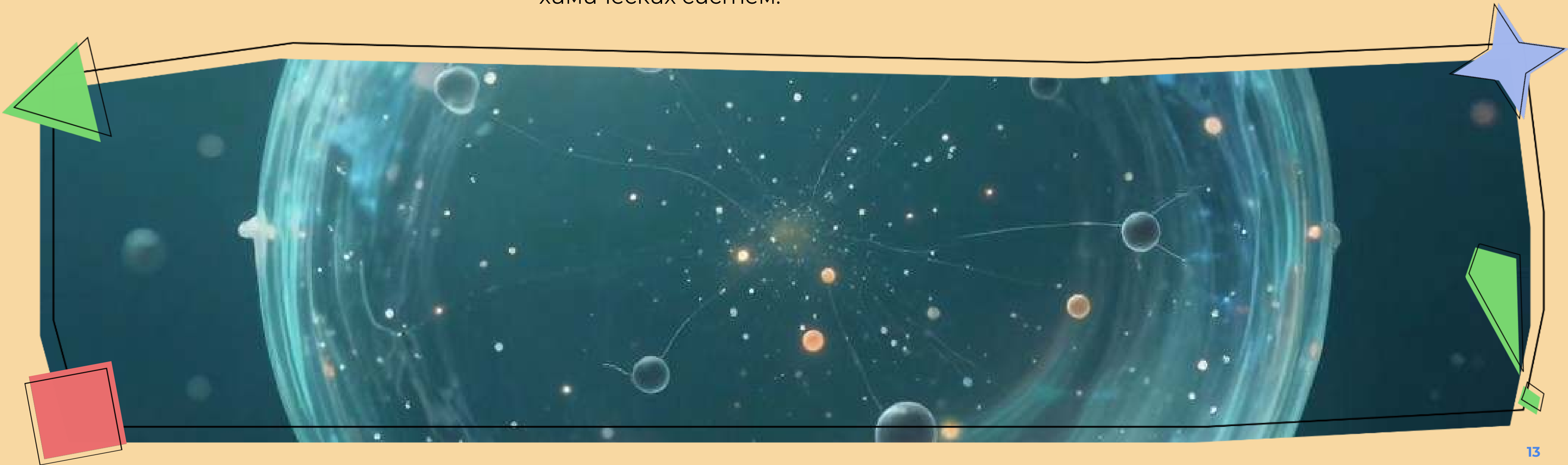
Липидные оболочки могли возникать самопроизвольно и удерживать молекулы внутри. Это создавало защищенное пространство, где реакции шли стабильнее, чем в открытой водной среде.

Концентрация вместо рассеяния

Когда вещества оказываются в замкнутом объеме, они реже теряются в океане и чаще сталкиваются друг с другом. Именно поэтому мембрана усиливала шанс на образование устойчивых химических систем.

Шаг к протоклетке

Пузырек из липидов сам по себе еще не клетка, но уже заготовка для нее. Если внутри появлялись полезные реакции, такая структура получала преимущество и могла эволюционировать дальше.



Как возникло наследование и отбор

1. Самокопирование

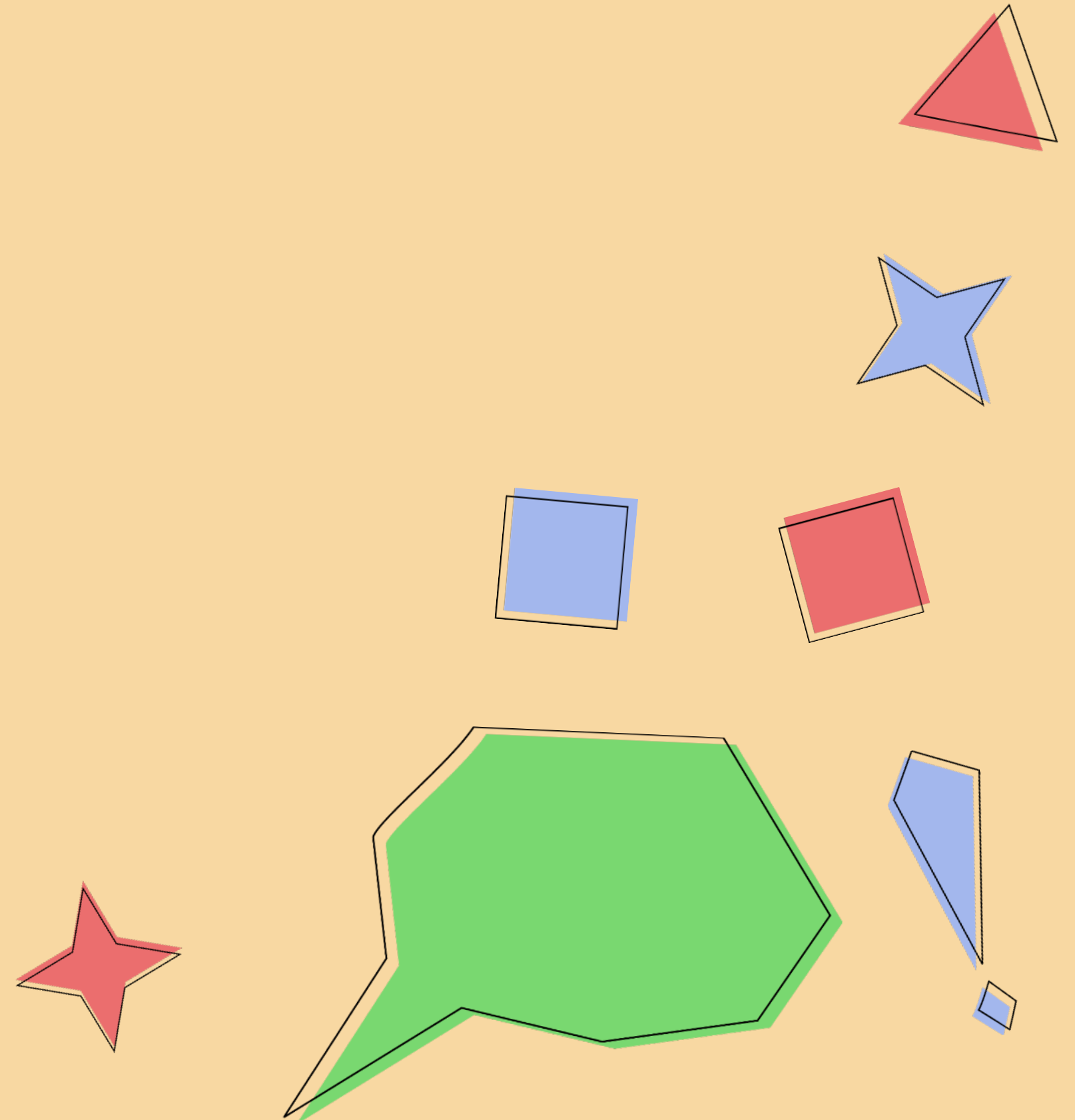
Первые молекулярные системы должны были уметь создавать свои копии. Без этого не возникло бы преемственности между поколениями и не появилась бы основа для дальнейшего усложнения.

2. Ошибки копирования

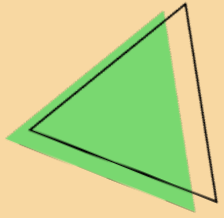
При копировании неизбежно появлялись различия между молекулами. Одни варианты оказывались более устойчивыми, другие разрушались быстрее, поэтому система становилась неоднородной.

3. Отбор до клеток

Если один вариант копировался успешнее, его становилось больше. Так естественный отбор мог действовать еще до появления настоящих клеток, ДНК и сложных организмов.

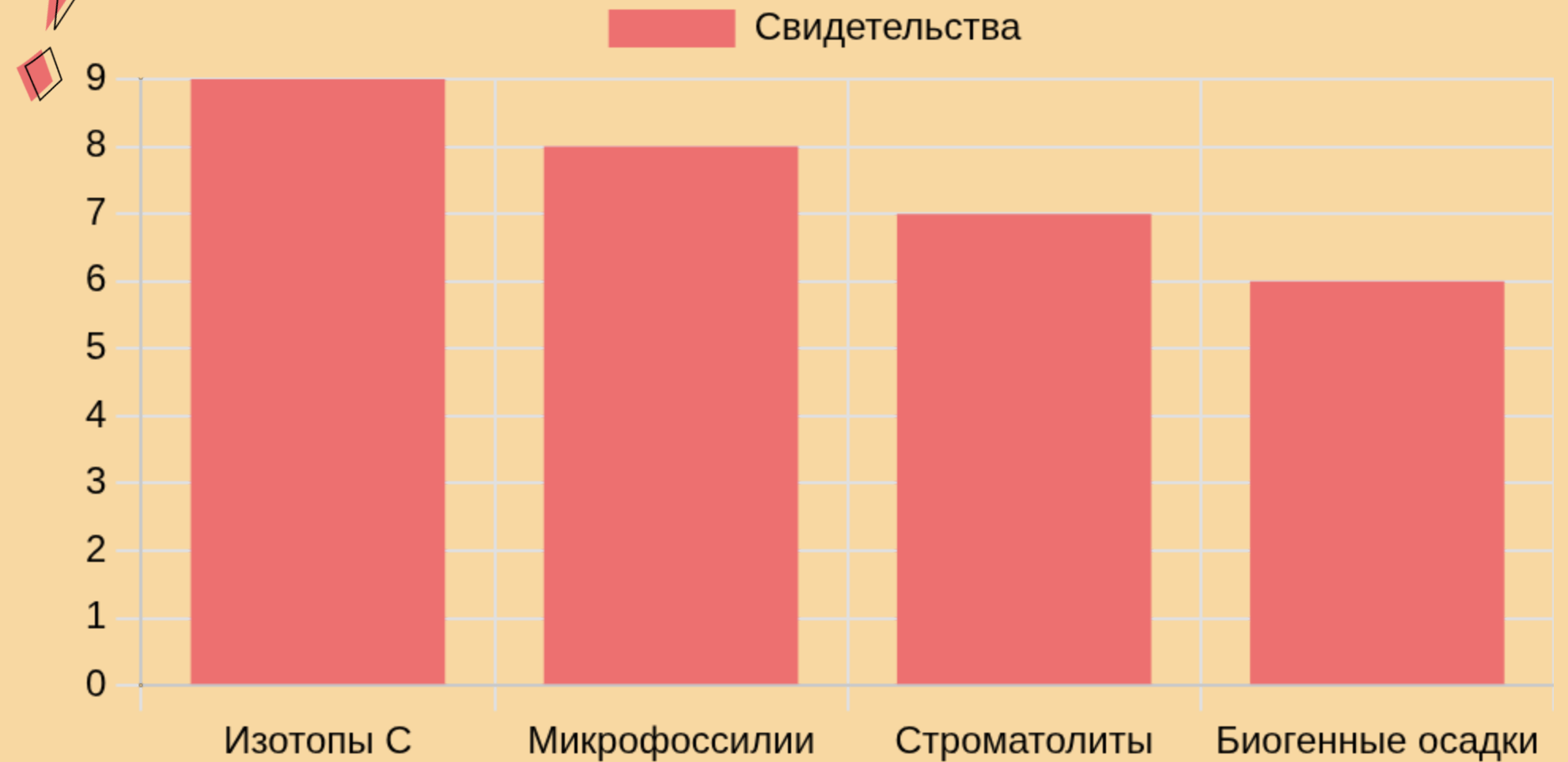
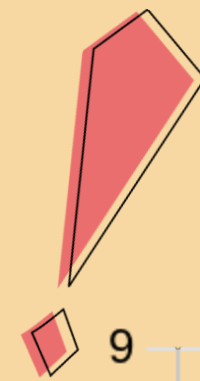
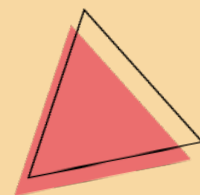
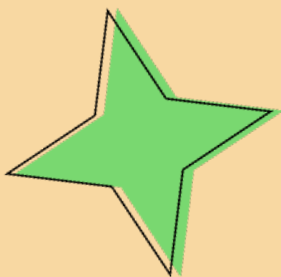


Основные группы доказательств древней жизни

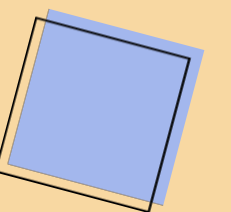


Разные типы данных дополняют друг друга: химические следы помогают там, где нет хорошо сохранившихся организмов, а геологический контекст проверяет их надежность.

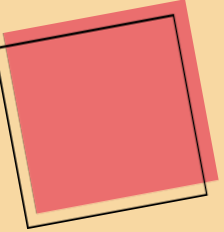
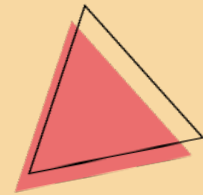
Все группы указывают на очень раннее существование жизни, но наиболее сильны данные, которые согласуются сразу по нескольким независимым признакам.



Палеобиологические и геохимические данные по древней Земле; оценка возрастов 3,5–3,8 млрд лет



От появления фотосинтеза к кислородной революции



≈ 2,7 млрд лет назад

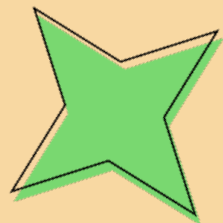
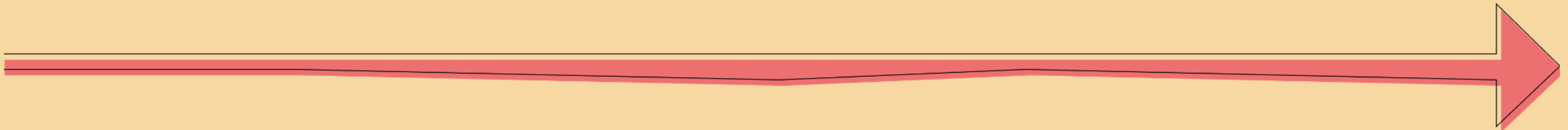
Появляются цианобактерии, способные к фотосинтезу с выделением кислорода. Это стало первым крупным источником свободного кислорода на планете.

≈ 2,4 млрд лет назад

Кислород начинает накапливаться в атмосфере. Меняется химия океанов, а многие древние организмы, приспособленные к бескислородной среде, оказываются в новых условиях.

Долгосрочные последствия

Рост содержания кислорода открыл путь к более эффективному обмену веществ и подготовил почву для усложнения жизни, хотя переход был постепенным и неоднородным.



Ключевые признаки эукариотической клетки



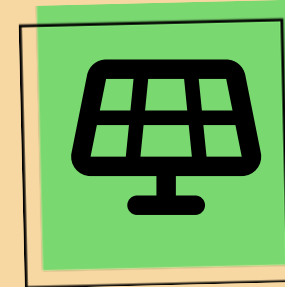
Энергетический союз

Поглощение предка митохондрий дало клетке более мощный источник энергии. Это увеличило объем доступных ресурсов и сделало возможным рост сложности внутреннего устройства.



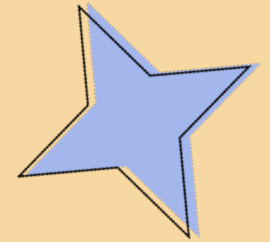
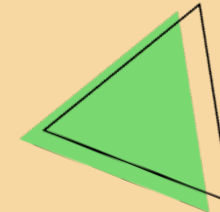
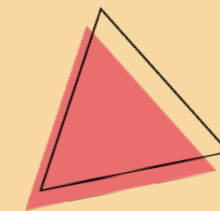
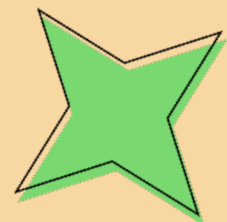
Новая клеточная архитектура

Эукариотические клетки отличаются ядром и внутренними мембранами. Такая организация позволила лучше разделять процессы и точнее управлять химией клетки.



Фотосинтез и хлоропласты

Позднее в некоторых линиях возникли хлоропласты, тоже через эндосимбиоз. Благодаря этому клетки получили способность использовать свет как источник энергии.



Почему изучение происхождения жизни важно сегодня

1.

Границы обитаемости

Исследования помогают понять, какие температура, химия и источники энергии делают планету пригодной для жизни. Это расширяет представления о том, где стоит искать биосферу.

2.

Поиск биосигнатур

Марс, Европа и Энцелад рассматриваются как ключевые цели для поиска признаков жизни. Анализ древней Земли подсказывает, какие следы в породах, льде или океанах могут быть значимыми.

3.

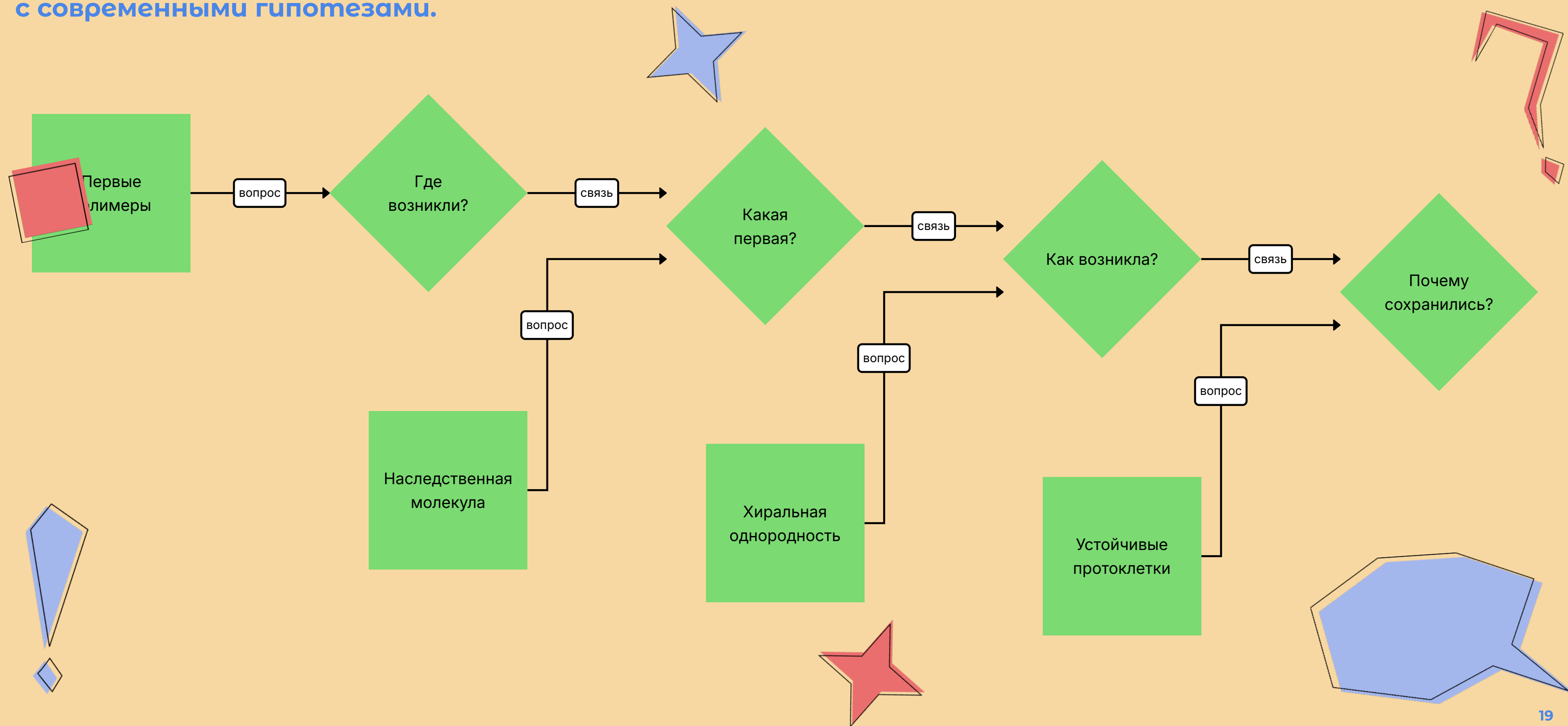
Польза для технологий

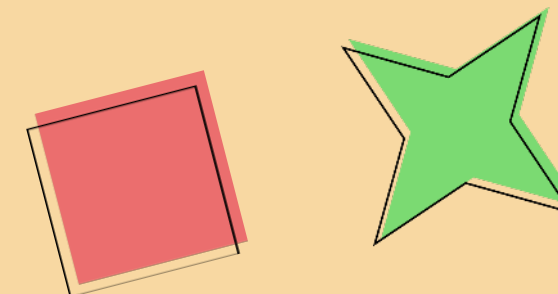
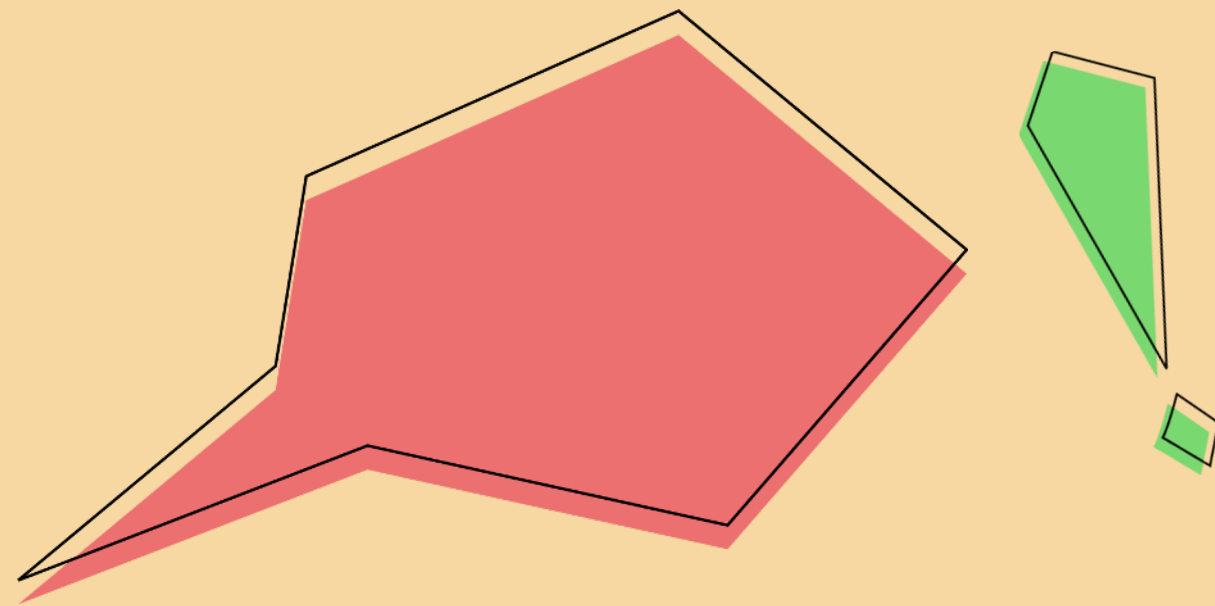
Знания о том, как из простой химии возникают устойчивые системы, важны для синтетической биологии. Они помогают создавать новые молекулярные конструкции и понимать пределы самосборки.



Какие вопросы пока остаются открытыми

Схема показывает главные нерешенные задачи исследований происхождения жизни и их связь с современными гипотезами.





Происхождение жизни — это путь, а не мгновение

**Научная картина складывается из нескольких
этапов: абиогенная химия, мембраны, наследование
и отбор. Окончательной разгадки нет, но именно
накопление проверяемых данных делает ответ все
ближе.**

