Факультет биоинженерии и биоинформатики
МГУ имени М.В. Ломоносова

Луна и LUCA

Дарья Владимировна Диброва
к.б.н., с.н.с. НИИ ФХБ МГУ,
доцент ФББ МГУ

Вводная лекция

05.09.2025

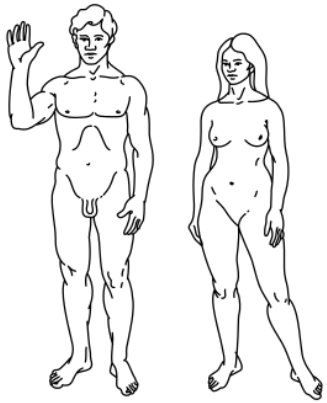
План сегодняшней лекции

1. Последний общий предок клеточных форм жизни (LUCA) – что это и откуда мы знаем, что такой общий предок был?
2. Что представлял собой LUCA? «Мир РНК» и ранняя эволюция жизни
3. Причем тут Луна?!

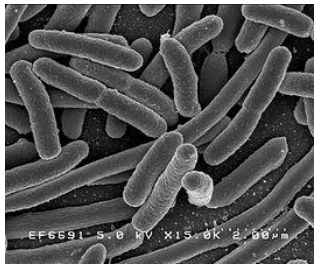
1. Последний общий предок клеточных форм жизни (LUCA) – что это и откуда мы знаем, что такой общий предок был?

На уровне генов могут быть похожи друг на друга даже совершенно разные внешне организмы

Мышь



Человек

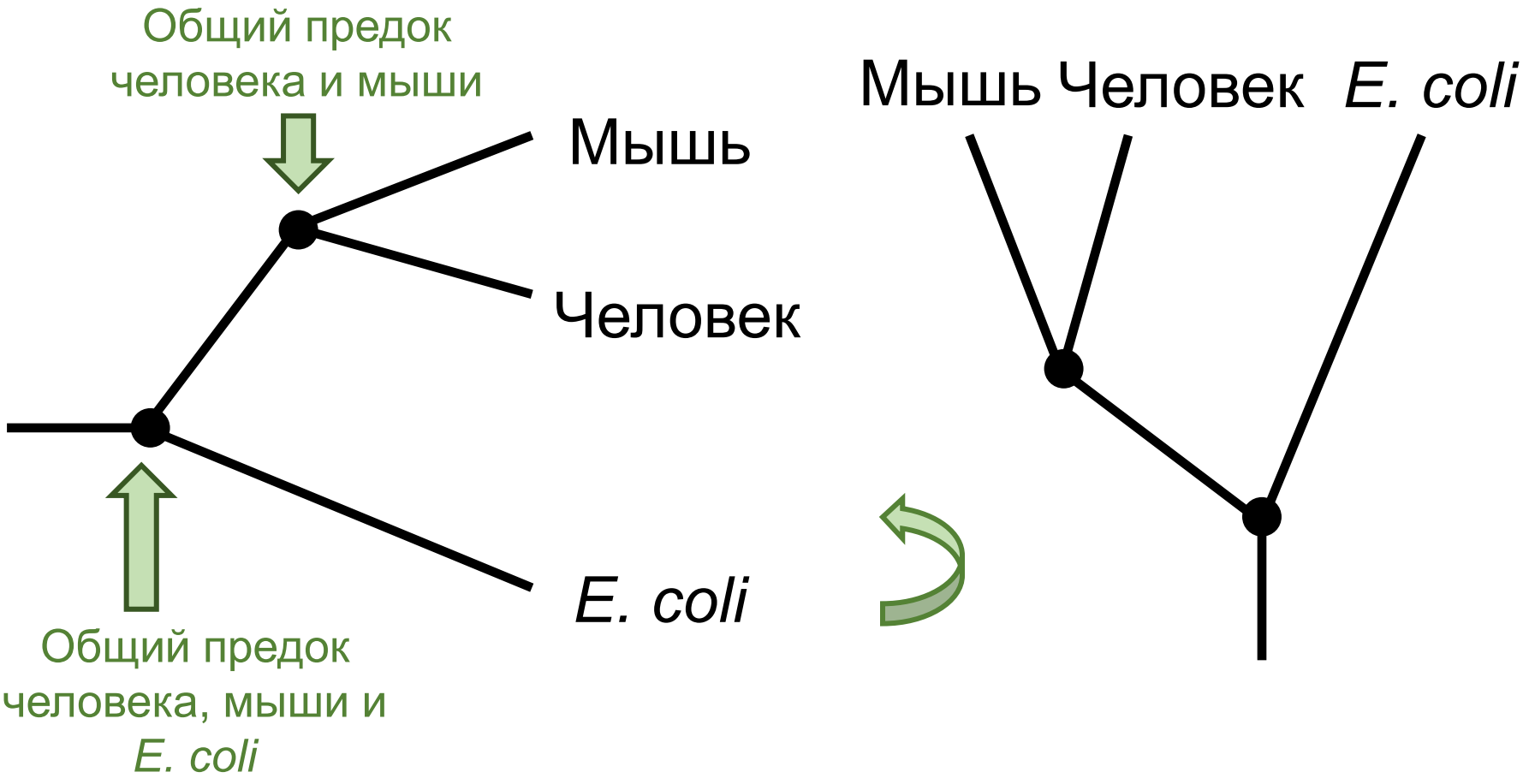


Escherichia coli

Параметр	Человек vs. мышь	Человек vs. *E. coli*
Общий план строения тела	✓	✗
Сходная физиология	✓	✗
Одинаково устроены клетки	✓	✗
Последовательности многих генов *похожи*	✓	✓

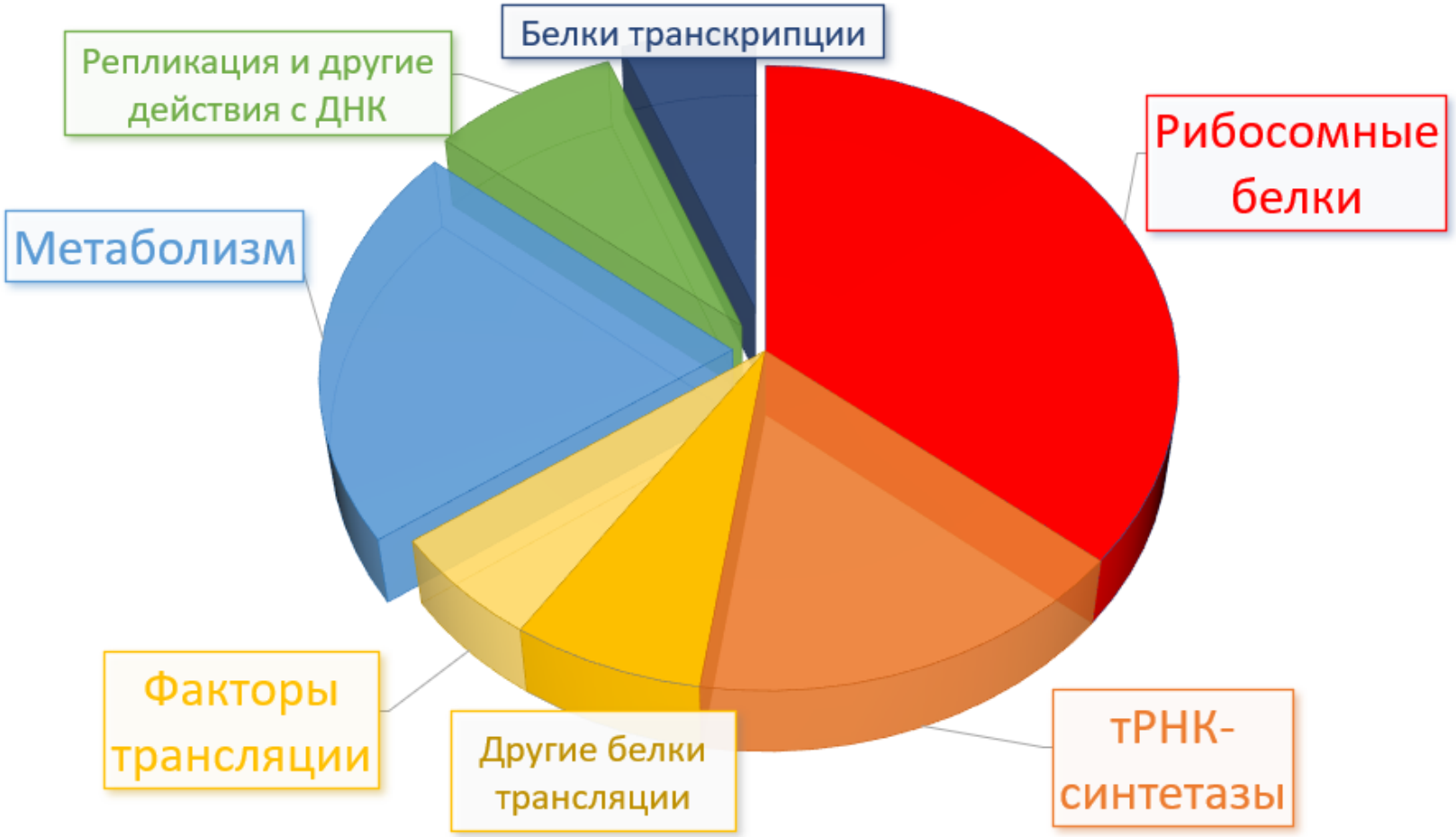
Источник рисунков: Википедия

Возможная причина: наличие общего предка



(Такие схемы называют «деревьями», про то как их строить подробнее будет на 2 курсе)

Около 80 белковых генов (и еще десятки генов РНК) есть у всех (*почти*) организмов



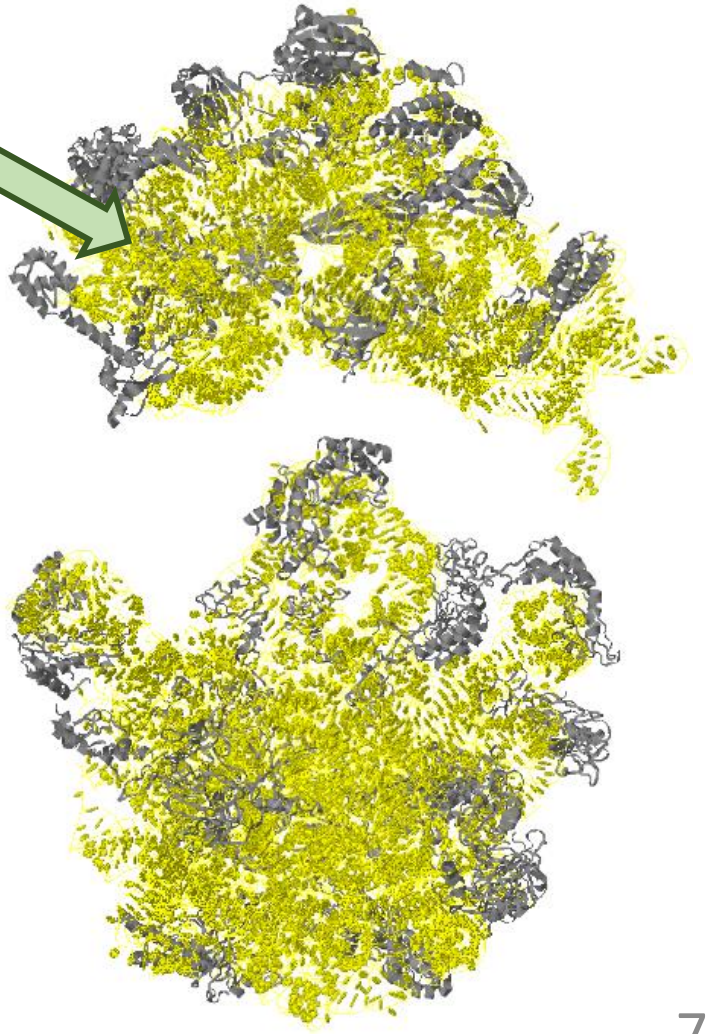
(Koonin, *Annu Rev Genomics Hum Genet*, **2000**; Charlebois and Doolittle, *Genome Res*, **2004**)

Рибосома (машина для синтеза белка) – самая универсальная система всех клеток

16S-рРНК

30S-субъединица, малая

50S-субъединица, большая

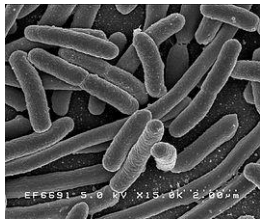


РНК

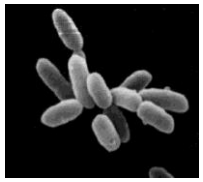
Белок

Идентификаторы PDB: 1PNS (малая) и 1PNU (большая) (объединены в 4V49)

Три домена клеточной жизни были выделены на основании анализа 16S рРНК

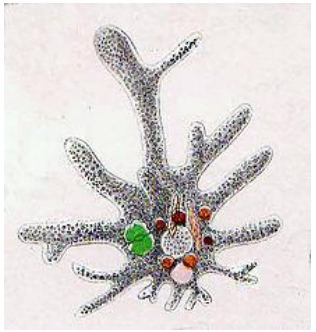


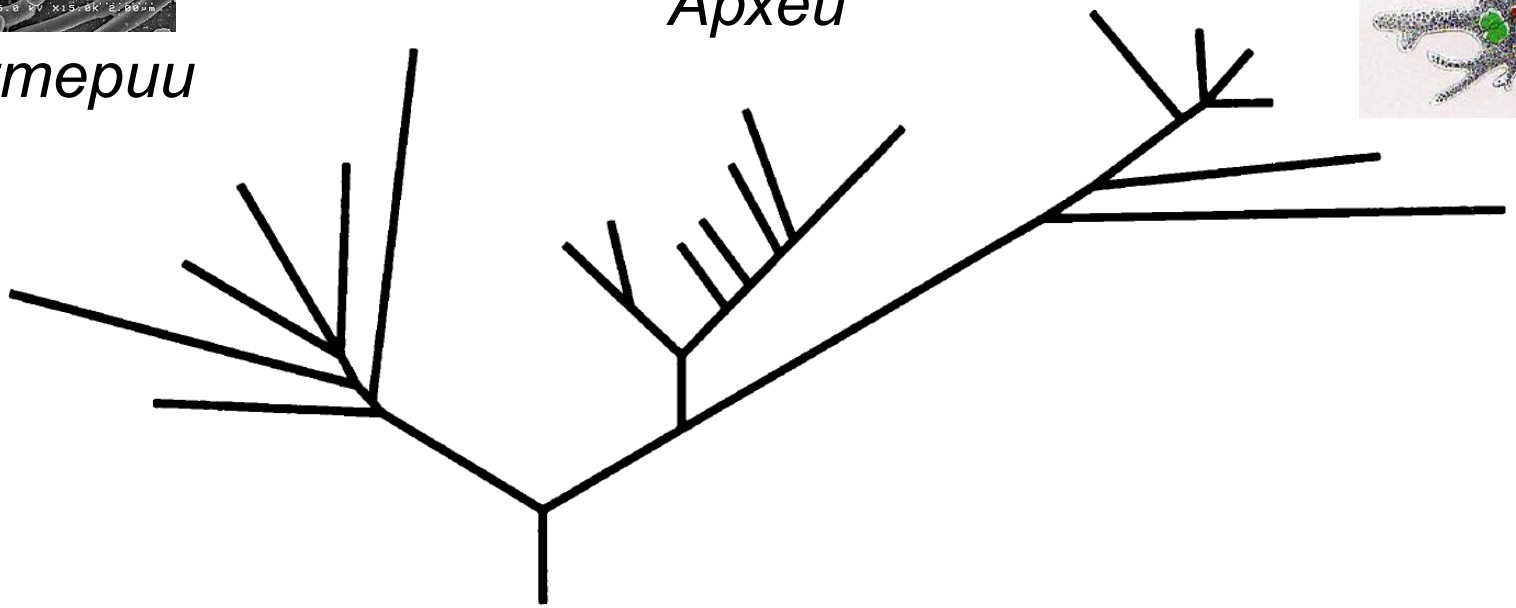
Бактерии



Археи

Эукариоты



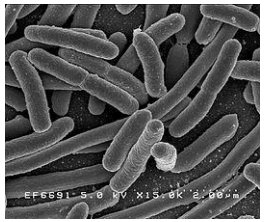


На основании сходства 16S рРНК все клеточные формы жизни разделяются на **три домена**

(Woese *et al.*, *PNAS*, **1977**; Woese *et al.*, *PNAS*, **1990**)

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

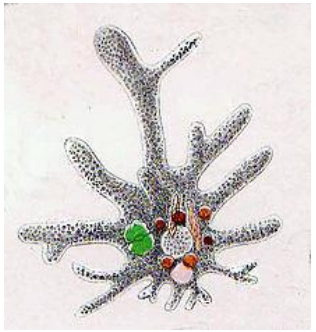
Асгардархеи – наиболее близкие родственники эукариот, открытые через анализ геномных данных

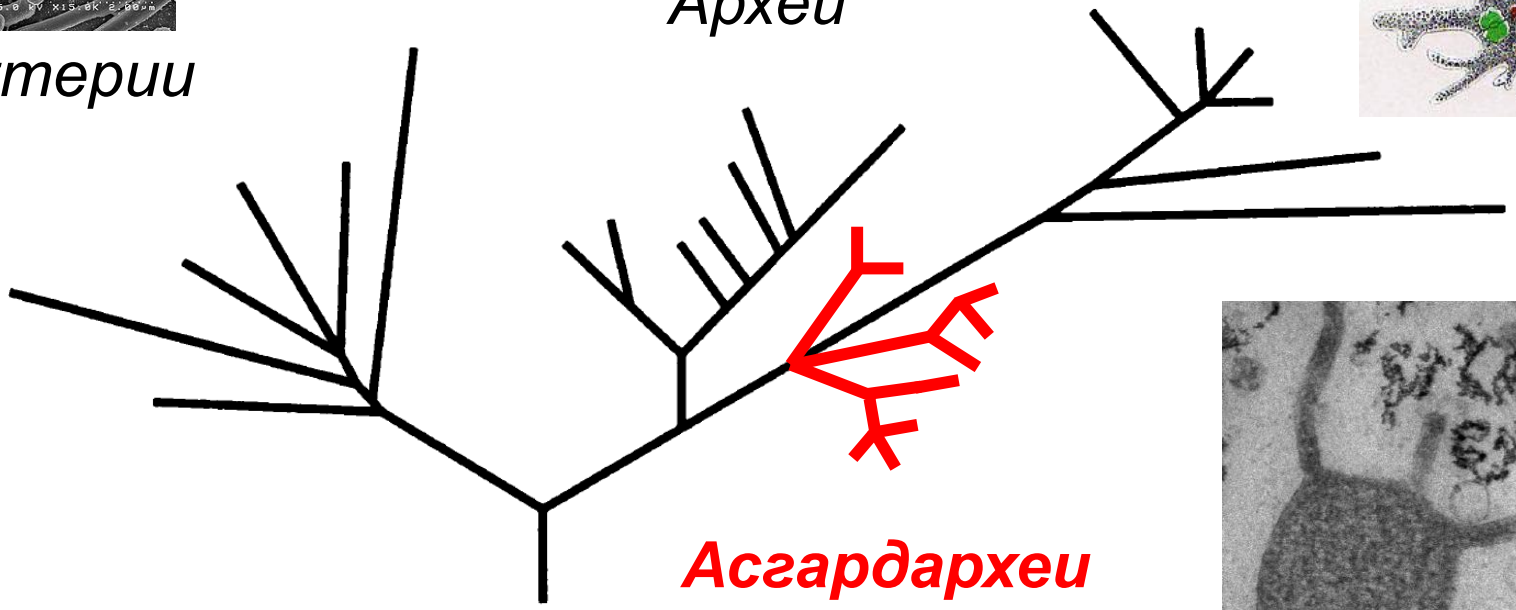


Бактерии

Археи

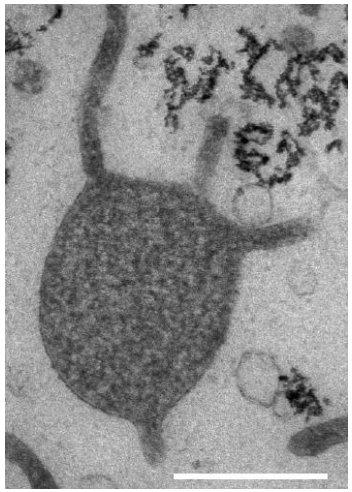
Эукариоты





Асгардархеи

(Spang *et al.*, *Nature*, **2015**)



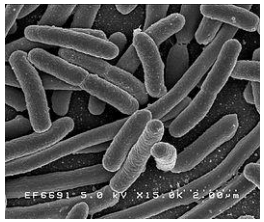
(Imachi *et al.*, *Nature*, **2020**)

На основании сходства 16S рРНК все клеточные формы жизни разделяются на **три домена**

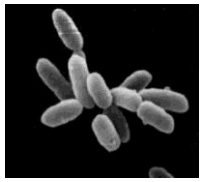
(Woese *et al.*, *PNAS*, **1977**; Woese *et al.*, *PNAS*, **1990**)

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

Последний общий предок всех клеток: Last Universal Cellular (Common) Ancestor (LUCA)

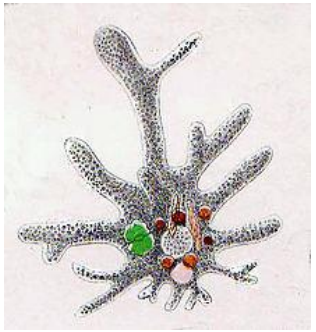


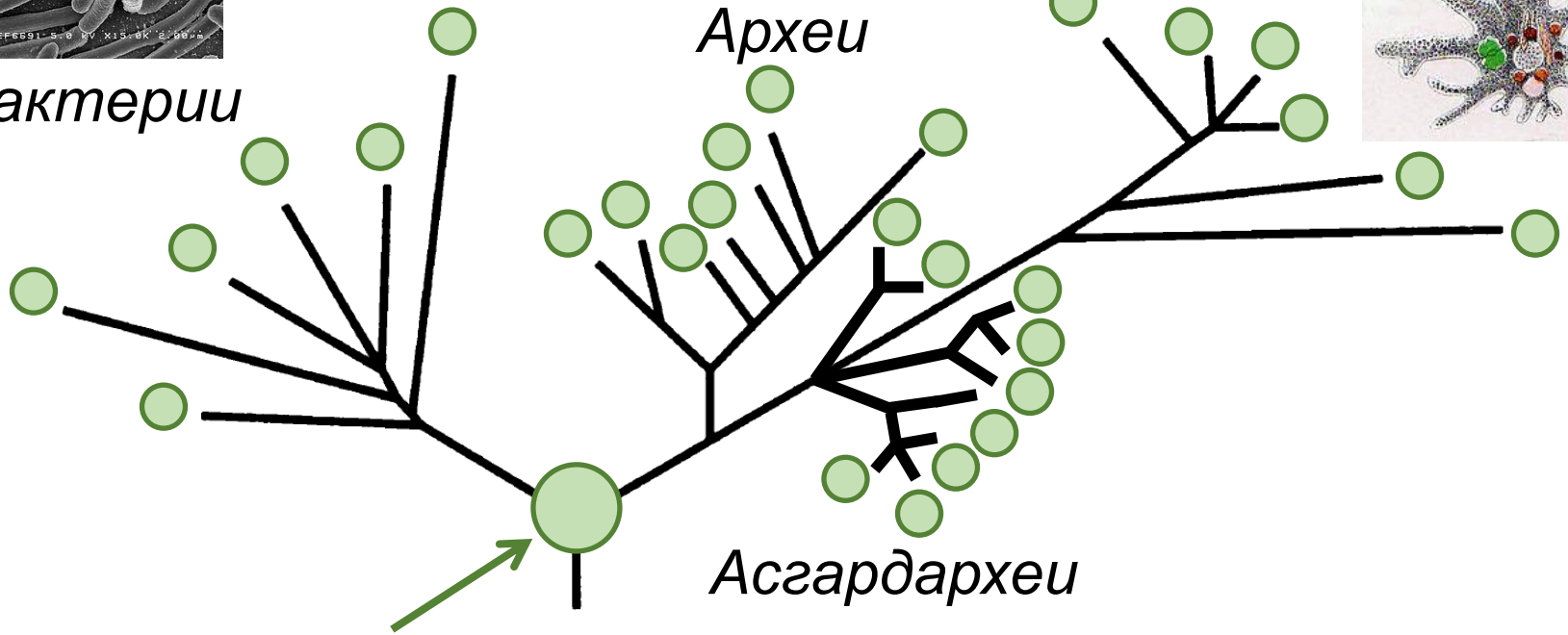
Бактерии



Археи

Эукариоты



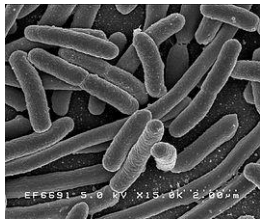


~ 80 универсальных белковых генов указывают на наличие **последнего общего предка клеточных форм живого** (LUCA), существовавшего до разделения бактерий и архей

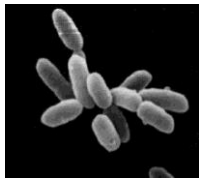
(Koonin, *Annu Rev Genomics Hum Genet*, **2000**; Charlebois and Doolittle, *Genome Res*, **2004**)

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

У LUCA могли быть также гены, которые не являются универсальными

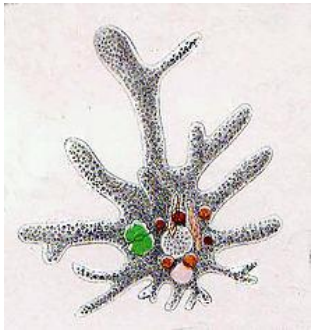


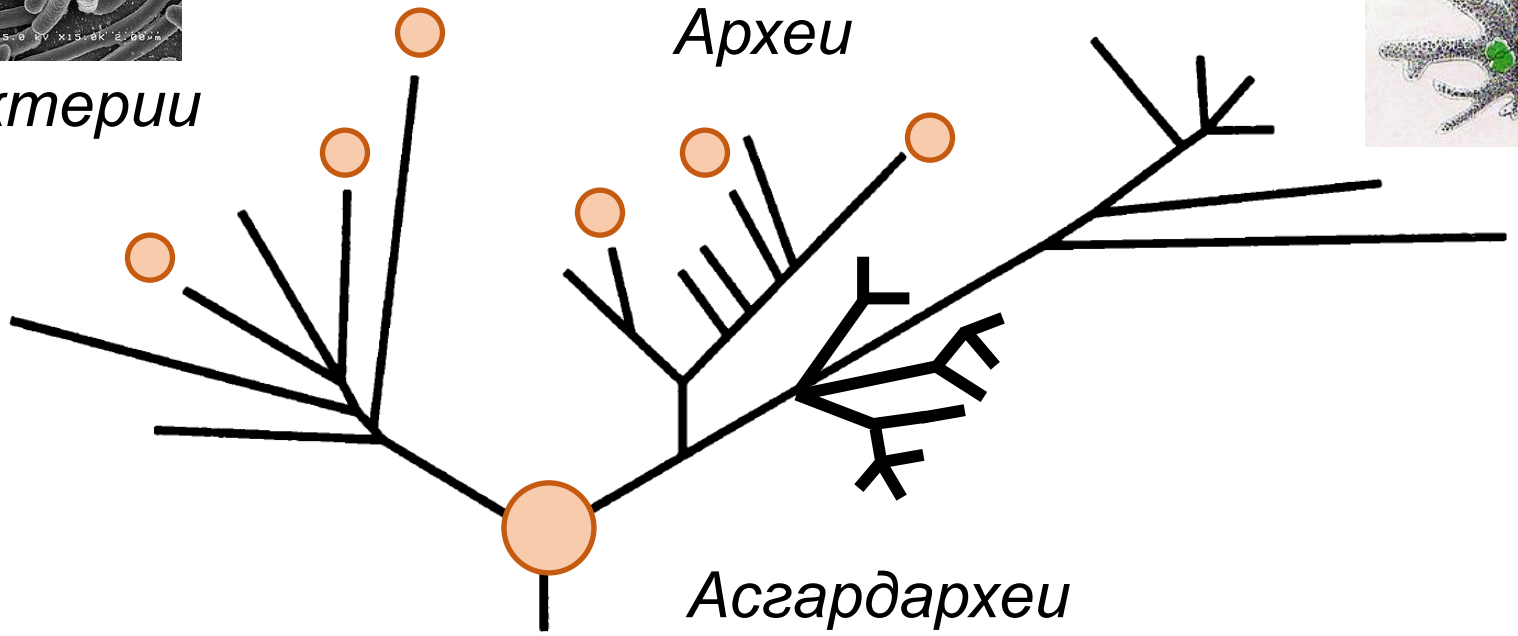
Бактерии



Археи

Эукариоты





Асгардархеи

- Организмы могут **утрачивать** гены по разным причинам;
- Иногда гены могут **приобретаться** не от предка, а «горизонтально», от другого организма (т.н. «horizontal gene transfer»)

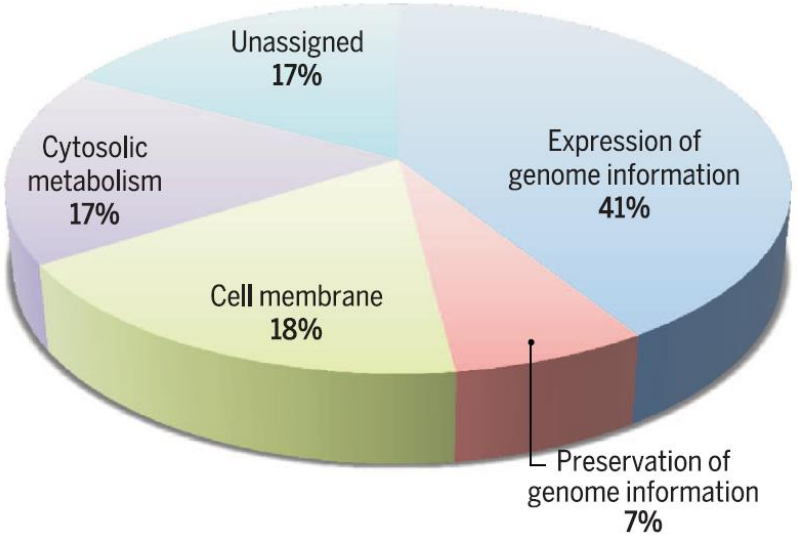
(Koonin *et al.*, *Annu Rev Microbiol*, **2001**)

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

2. Что представлял собой LUCA? «Мир РНК» и ранняя эволюция жизни

Минимальный набор генов для жизни в богатой (лабораторной) среде

- В 2010 г. синтезировали хромосому бактерии *Mycoplasma* по известной последовательности (внеся незначительные изменения), вставили ее в клетку другого вида микоплазмы, откуда ДНК была удалена.
- В 2016 г. удалось уменьшить число генов с 901 до **473**, сохранив способность клеток делиться и жить.
- Правда, они делились не очень четко. В исследовании 2021 г. им вернули 7 генов, и они стали делиться почти как дикие!

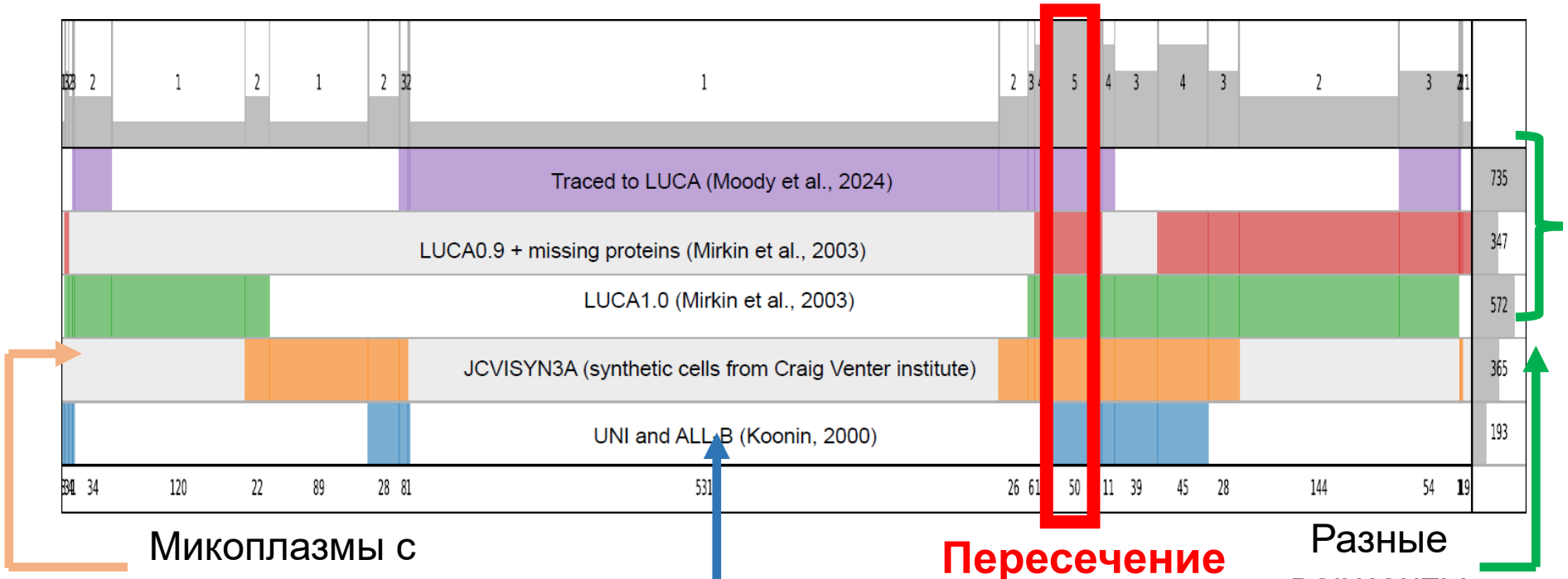


Функциональные группы в «минимальном наборе генов» (из работы 2016 г.)

Источник рисунка: Hutchison C.A. 3rd, ..., and Craig J. Venter (**2016**) Design and synthesis of a minimal bacterial genome. *Science* 351(6280):aad6253.

См. также: Gibson D.G. *et al.* (**2010**) Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science* 329(5987):52–56. Pelletier J.F. et al. (**2021**) Genetic requirements for cell division in a genomically minimal cell. *Cell* 184(9):2430–2440.

Представления о том, какие же белковые гены были у LUCA, весьма противоречивы



! Сложная диаграмма Венна получена с помощью **supervenn** (крутого модуля для Python: https://github.com/gecko984/supervenn)

… но белок-кодирующих генов у него должно было быть несколько сотен как минимум

- У LUCA точно был **механизм трансляции**, напоминающий современный: рибосомы, тРНК и пр.
- У LUCA был **геном**, возможно, еще записанный в виде **РНК** (хотя это не точно…)
- Вероятно, у LUCA была какая-то **мембрана** (но и это не точно…)
- Каким образом появились сотни генов, сложнейшая система трансляции и т.п.?
- В каких условиях жил LUCA?

См. подробнее:
Forterre P. (**2024**) The Last Universal Common Ancestor of Ribosome-Encoding Organisms: Portrait of LUCA. *Journal of Molecular Evolution* 92:550–583.

Универсальные белки очень часто зависят от K^+ и Zn^{2+}, сравнительно редких на Земле

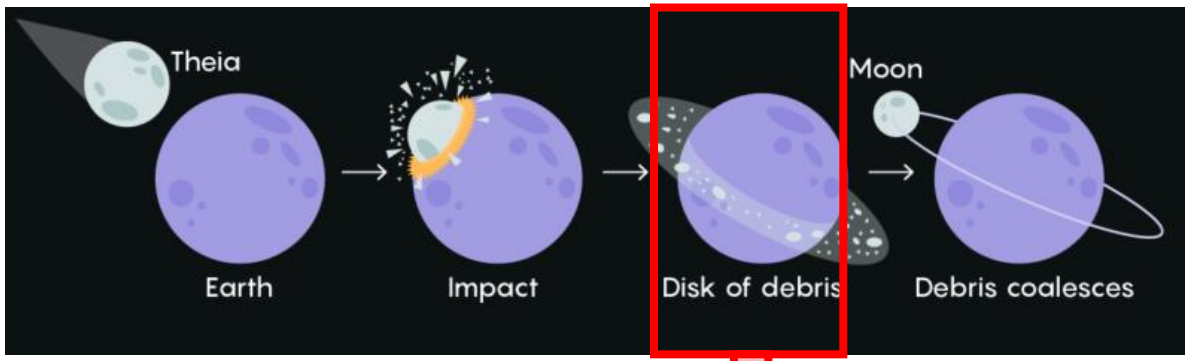
Параметр	Важные для функции Me^+	Важные для функции Me^{2+}	Me^{2+} в структурах белков
Рибосомные белки	-	-	Mg^{2+}, Zn^{2+}
тРНК-синтетазы	K^+	Mg^{2+}, Zn^{2+}	Mg^{2+}, Zn^{2+}
Другие белки трансляции	-	Mg^{2+} / Zn^{2+}	Mg^{2+} / Zn^{2+}
Факторы трансляции	K^+	Mg^{2+}	Mg^{2+}
Метаболизм	-	Mg^{2+}	Mg^{2+}
Репликация и др. действия с ДНК	K^+	Mg^{2+}	Mg^{2+}
Белки транскрипции	K^+	Mg^{2+}, Zn^{2+}	Mg^{2+}, Zn^{2+}

Для получения таблицы мы проанализировали **18 616** трехмерных структур универсальных белков (не считая **52 398** структур рибосомальных белков)

Mulkidjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (**2025**) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

3. Причем тут Луна?!

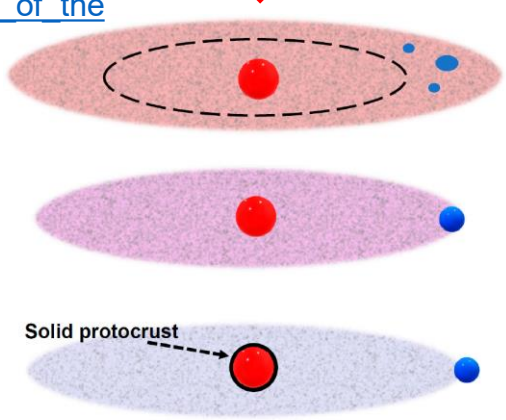
Луна обеднена умеренно летучими элементами, в том числе K^+ и Zn^{2+}, по сравнению с Землей

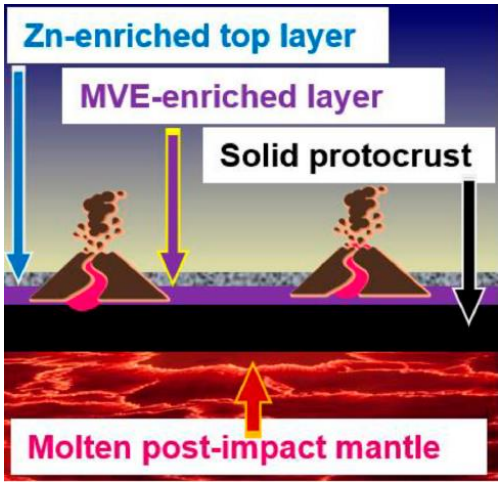


Модель ударного формирования Луны

Источник рисунка:

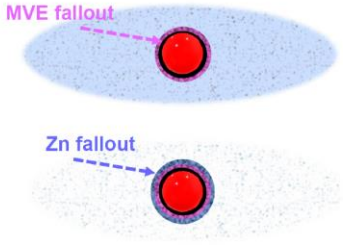
https://en.wikipedia.org/wiki/Origin_of_the_Moon





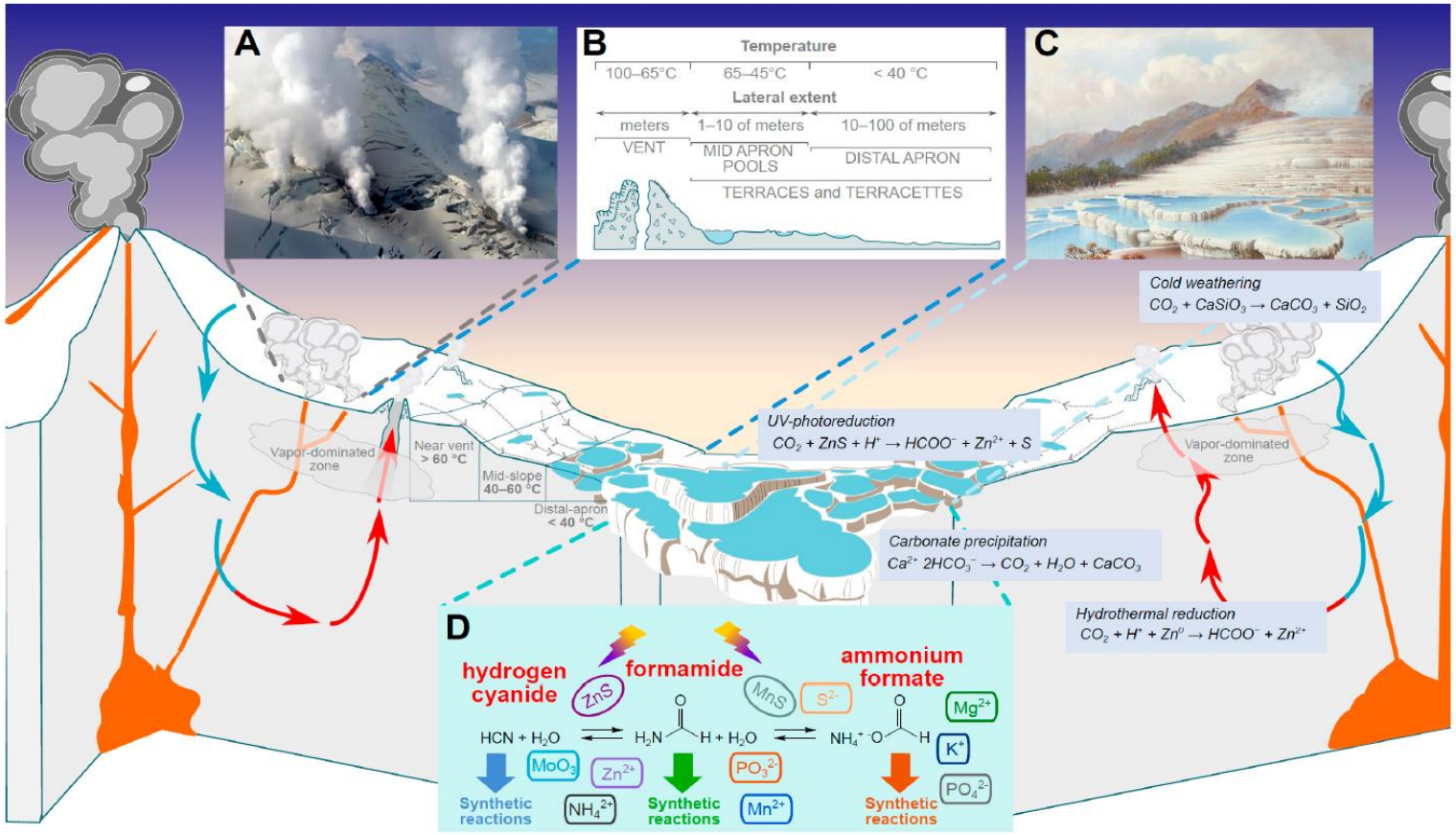
Выпадение умеренно летучих элементов (MVE)

Выпадение Zn^{2+}, самого летучего из них



Источник рисунка: Mulkidjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (**2025**) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

Наземные геотермальные системы – подходящее место для возникновения и ранней эволюции жизни



Источник рисунка: Mulkidjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (**2025**) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

См. также: Mulkidjanian A.Y., Bychkov A.Y., Dibrova D.V., Galperin M.Y., Koonin E.V. (**2012**) Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields. *PNAS* 109(14): E821–E830.

Только что вышедшая на бумаге книга по теме

Книга содержит интервью ведущих ученых в этой области, в том числе главного автора нашей статьи, о которой говорилось раньше

Армен Яковлевич Мулкиджанян
д.б.н., проф. ФББ МГУ

Теории происхождения и ранней эволюции жизни (наша не исключение) *умеренно* убедительны

...
В магистрах, в докторах хожу
И за нос десять лет вожу
Учеников, как буквоед,
Толкуя так и сяк предмет.
...

Гёте. «Фауст»
(перевод Б.Пастернака)