



Факультет биоинженерии и биоинформатики
МГУ имени М.В. Ломоносова

Луна и LUSA

... а также чем мы будем заниматься.
Вводная лекция для студентов ФББ МГУ

Дарья Владимировна Диброва

к.б.н., с.н.с. НИИ ФХБ МГУ,
доцент ФББ МГУ

04.09.2026

План сегодняшней лекции

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

1. О нашем курсе биоинформатики

План курса биоинформатики

1. Первый семестр (осень I курса):

практическая информатика

2. Второй семестр (весна I курса):

биоинформатика (структуры и последовательности белков)

3. Третий семестр (осень II курса), параллельно:

— биоинформатика (структуры и последовательности нуклеиновых кислот)

— язык R

4. Четвёртый семестр (весна II курса), параллельно:

— биоинформатика (эволюция, семейства белков, ...)

— программирование на Python

— подготовка и защита курсовой работы (!)

Преподаватели биоинформатики

- Андрей Владимирович Алексеевский aba@belozersky.msu.ru
- Сергей Александрович Спирин sas@fbb.msu.ru
- Иван Сергеевич Русинов isrusinov@gmail.com, @isrusin (в ТГ)
- Дарья Владимировна Диброва udavdasha@gmail.com
- Дмитрий Дмитриевич Пензар dmitry_penzar_1996@mail.ru
- Анастасия Александровна Жарикова azharikova@gmail.com
- Екатерина Даниловна Рюмина ryu-ekaterina@yandex.ru
- Юлия Александровна Алёшина vjulia94@gmail.com
- Иван Сергеевич Ильницкий @lnitsky (в ТГ)
- Арсений Олегович Зинкевич @arsen_z (в ТГ)
- ... а также аспиранты и студенты старших курсов

Что такое биоинформатика?

- ~~Раздел парапсихологии, посвящённый информационным полям~~
- ~~Наука, изучающая потоки информации между живыми организмами и внутри них~~
- **Компьютерные методы в биологии**
 - Биоинформатика — не отдельная наука, а совокупность методов!
 - Наука называется «биология»

Что такое биоинформатика?

- На самом деле по факту уже:
 - Биоинформатикой принято называть применение компьютерных наук в задачах **молекулярной** биологии
 - Причина этому объективная: именно в молекулярной биологии накоплено огромное количество экспериментальных данных, требующих обработки и интерпретации. Прежде всего это последовательности нуклеиновых кислот

Примеры задач биоинформатики

- Предсказание последовательностей белков по последовательности ДНК
- Предсказание пространственной структуры белка по его последовательности
- Предсказание функции белка по его последовательности (или по пространственной структуре)
- Реконструкция эволюции
 - ... и очень много более частных (но не менее важных) задач

Чем занимаются биоинформатики?

- Да кто чем...
- Одни, сидя за компьютером, **изучают содержимое публичных банков данных и результаты знакомых экспериментаторов**. При этом, разумеется, используют самые разные компьютерные программы.
- Другие **пишут программы** для первых.
- Третьи **придумывают алгоритмы** для таких программ.
- Многие занимаются всем перечисленным **попеременно**.
- **И все всё время пишут статьи.**

План первого семестра

- **Блок 1: введение**

Нужно завести учётные записи, выбрать бактерию, на примере генома которой вы будете осваивать методы и т.п.

- **Блок 2: работа в командной строке Linux**

Совершенно необходимый навык!

- **Блок 3: электронные таблицы**

Иногда очень удобный инструмент, надо владеть

- **Блок 4: программирование на Python**

Самые основы, более глубоко будете изучать в 4-ом семестре

- **Блок 5: мини-обзор генома бактерии**

С самого начала нужно будет применять изучаемые методы к данным о геноме выбранной бактерии или археи. К концу семестра нужно будет подготовить и «защитить» описание полученных результатов

Другие семестры

- **Второй семестр:**
 - язык HTML, создание собственного веб-сайта;
 - визуализация пространственных структур белков;
 - банк последовательностей белков UniProt;
 - выравнивание последовательностей гомологичных белков и поиск в банках белков, гомологичных данному.
- **Третий семестр:**
 - пространственная структура нуклеиновых кислот;
 - банки последовательностей нуклеиновых кислот
 - работа с результатами секвенирования.
- **Четвёртый семестр:**
 - реконструкция филогении;
 - семейства белков и связанные задачи.

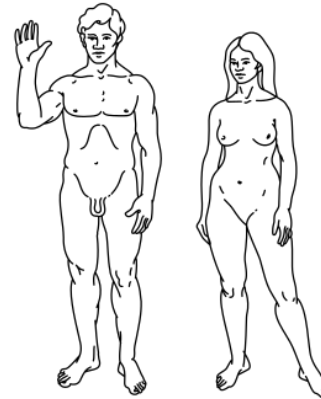
2. Последний общий предок
клеточных форм жизни (LUCA) –
что это и откуда мы знаем, что
такой общий предок был?

Немного об одной задаче

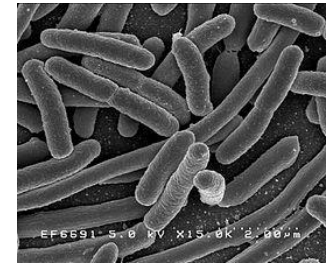
На уровне генов могут быть похожи друг на друга даже совершенно разные внешне организмы



Мышь



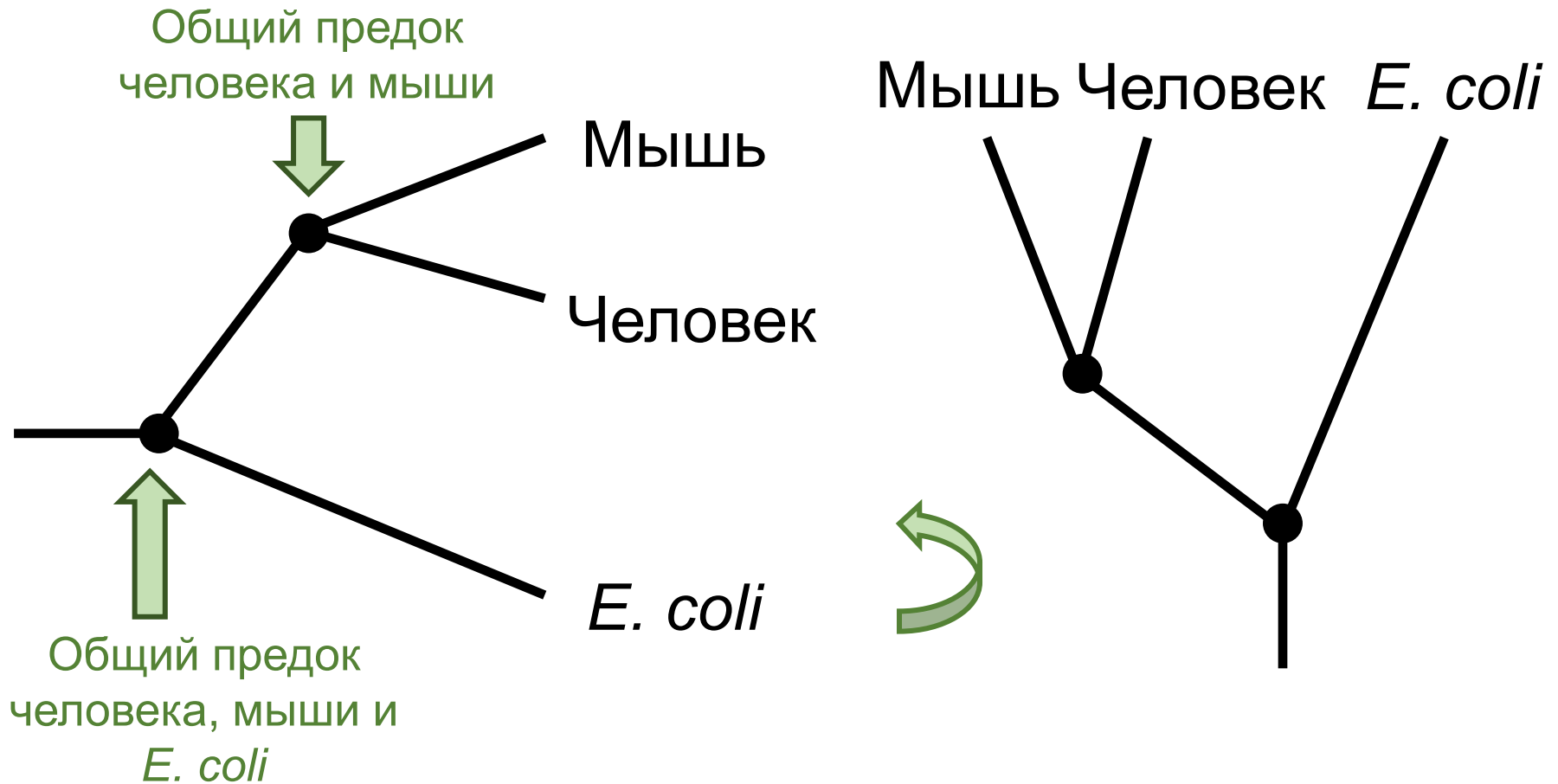
Человек



Escherichia coli

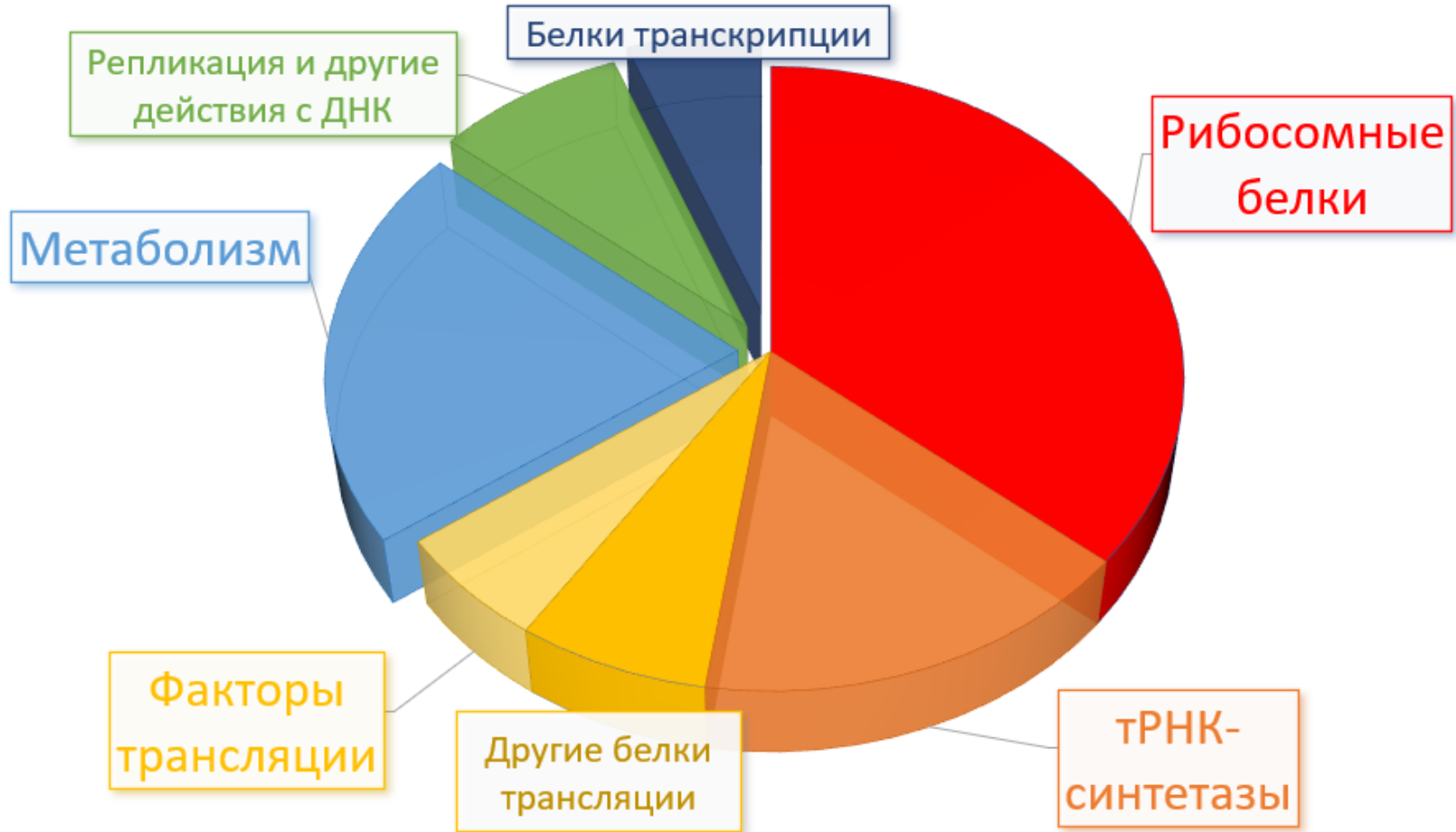
Параметр	Человек vs. мышь	Человек vs. <i>E. coli</i>
Общий план строения тела	✓	✗
Сходная физиология	✓	✗
Одинаково устроены клетки	✓	✗
Последовательности многих генов <i>похожи</i>	✓	✓

Возможная причина: наличие общего предка

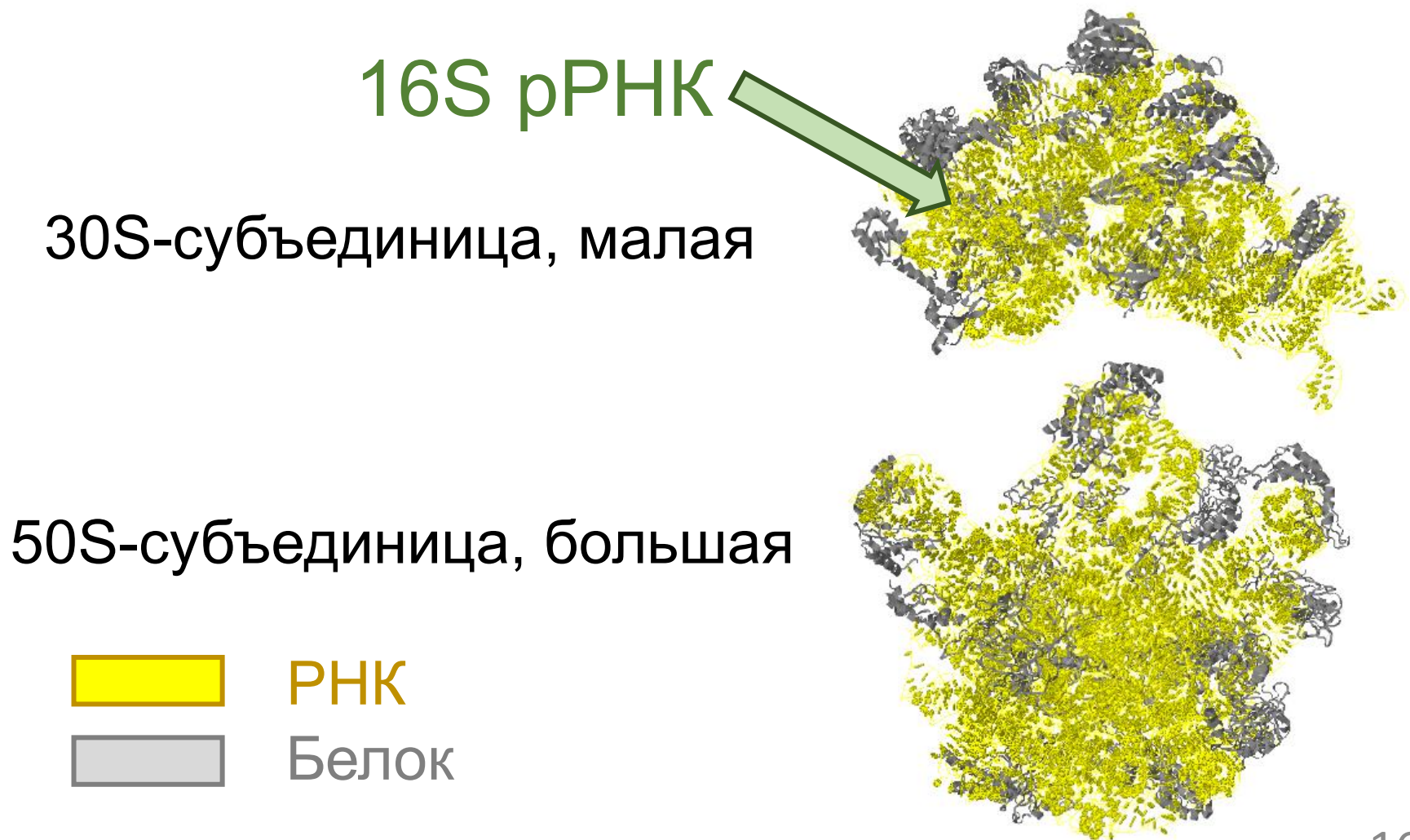


(Такие схемы называют «деревьями», про то как их строить подробнее будет на 2 курсе)

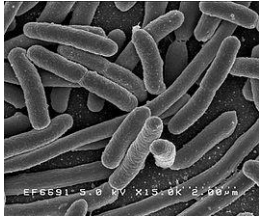
Около 80 белковых генов (и еще десятки генов РНК) есть у всех (*почти*) организмов



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



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

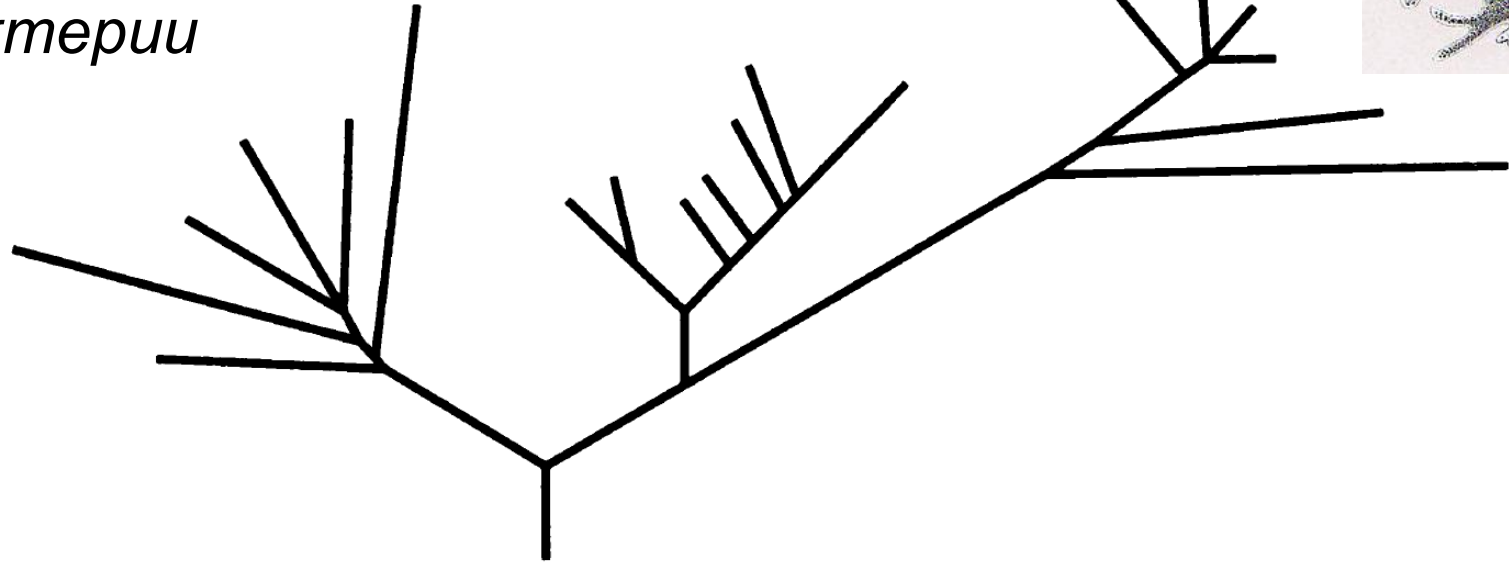
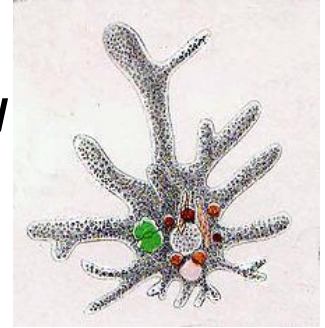


Бактерии



Археи

Эукариоты

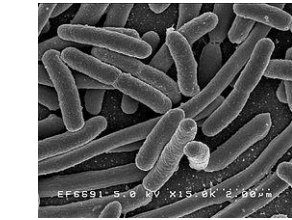


На основании сходства 16S рРНК
все клеточные формы жизни
разделяются на **три домена**

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

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

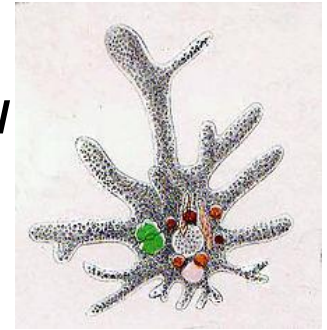
Асгардархеи – наиболее близкие родственники эукариот, открытые через анализ геномных данных



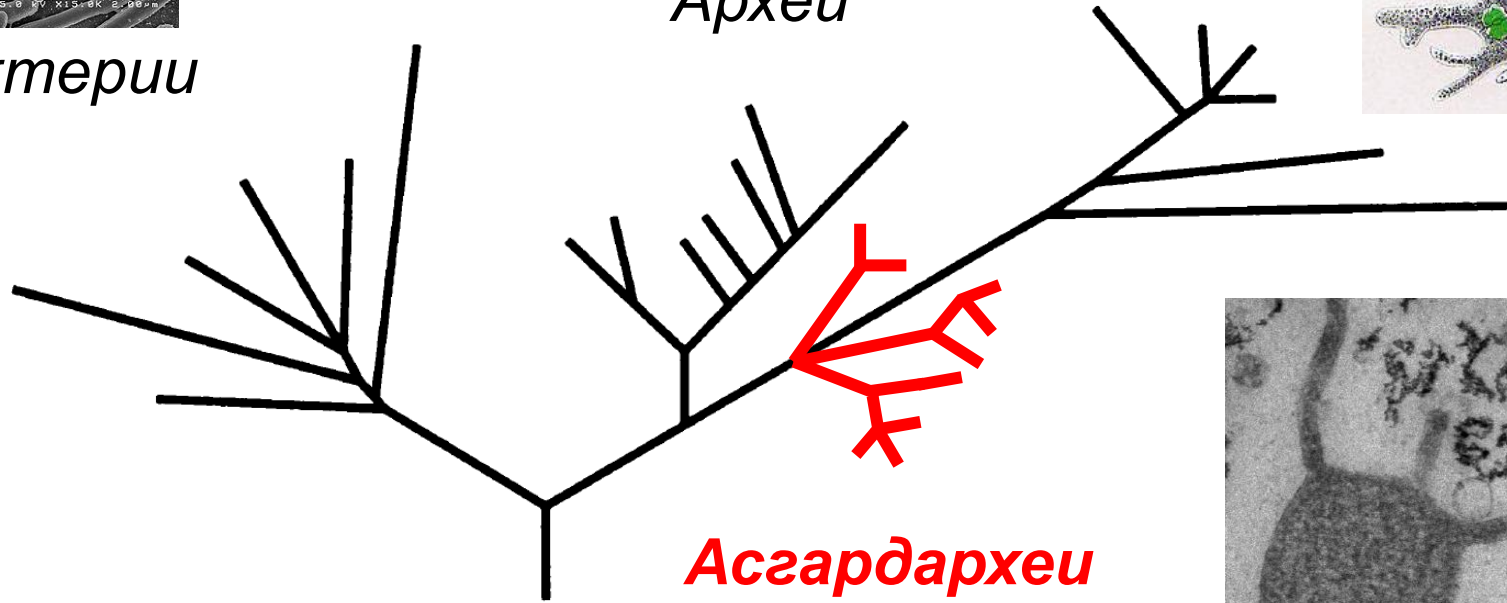
Бактерии



Археи



Эукариоты

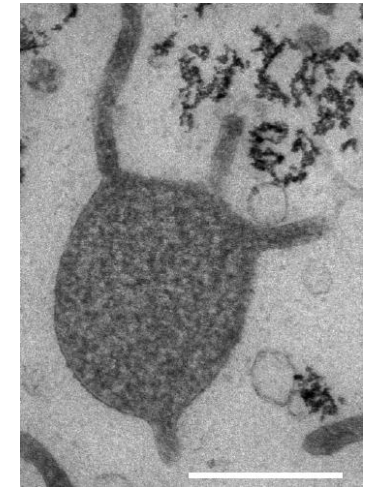


Асгардархеи

(Spang et al., Nature, 2015)

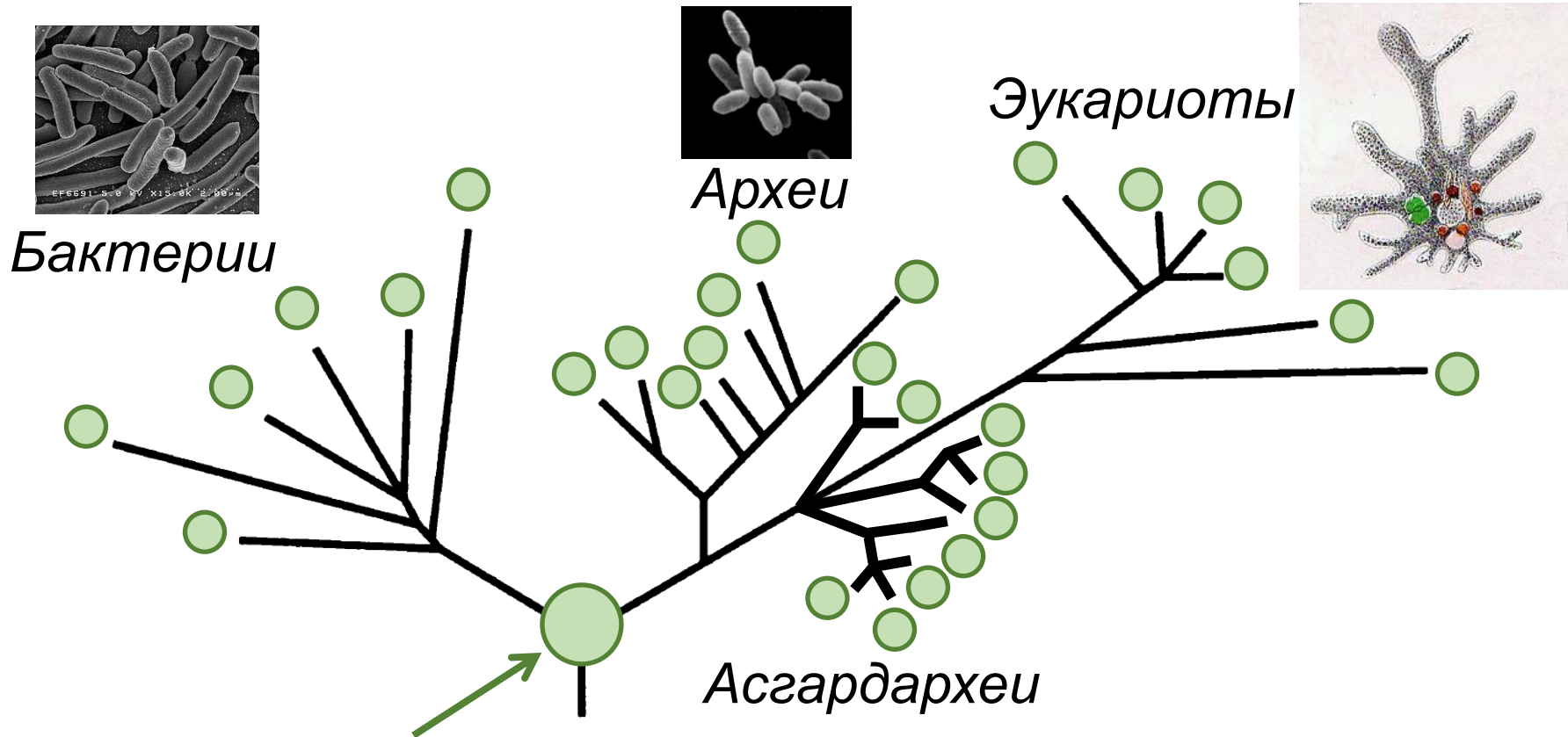
На основании сходства **16S рРНК**
все клеточные формы жизни
разделяются на **три домена**

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



(Imachi et al., Nature, 2020)

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

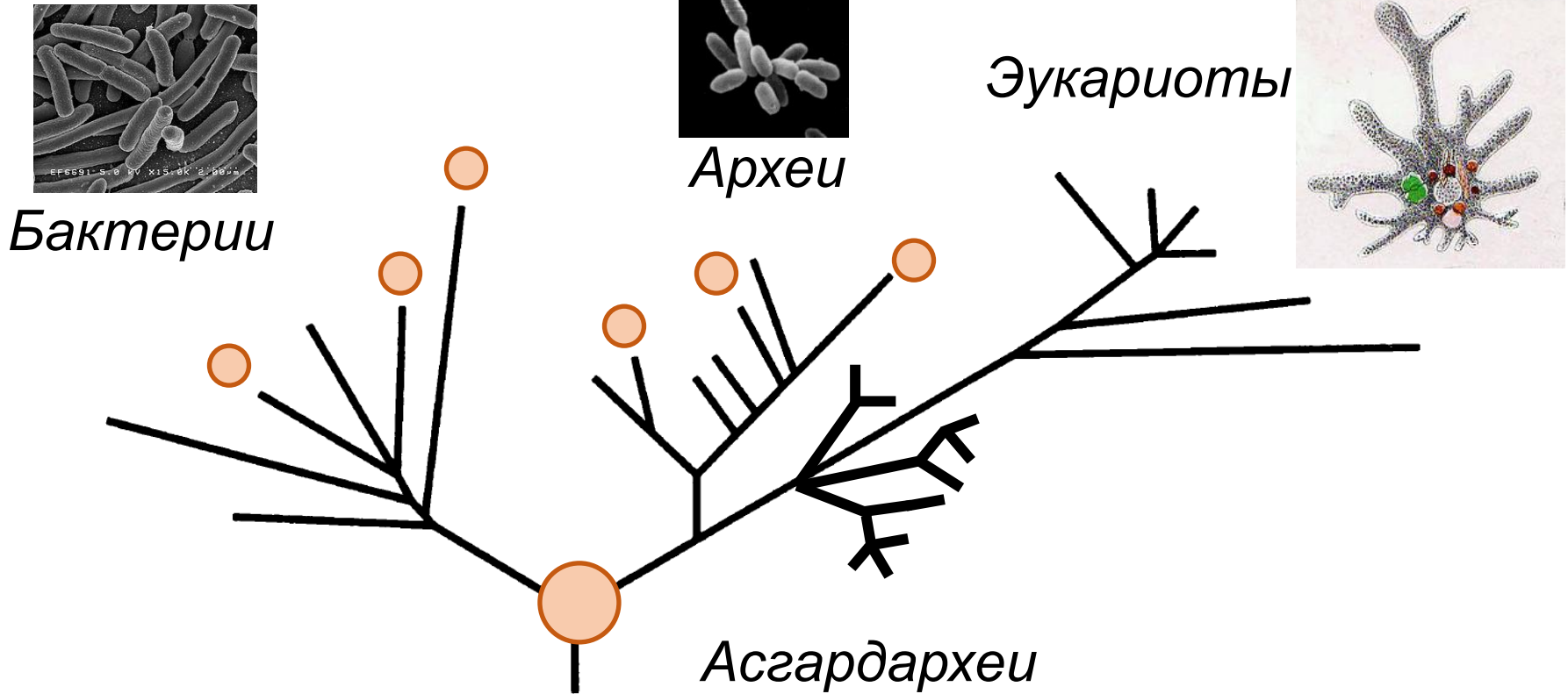


~ 80 универсальных белковых генов указывают на наличие последнего общего предка клеточных форм живого (LUCA), существовавшего до разделения бактерий и архей

(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



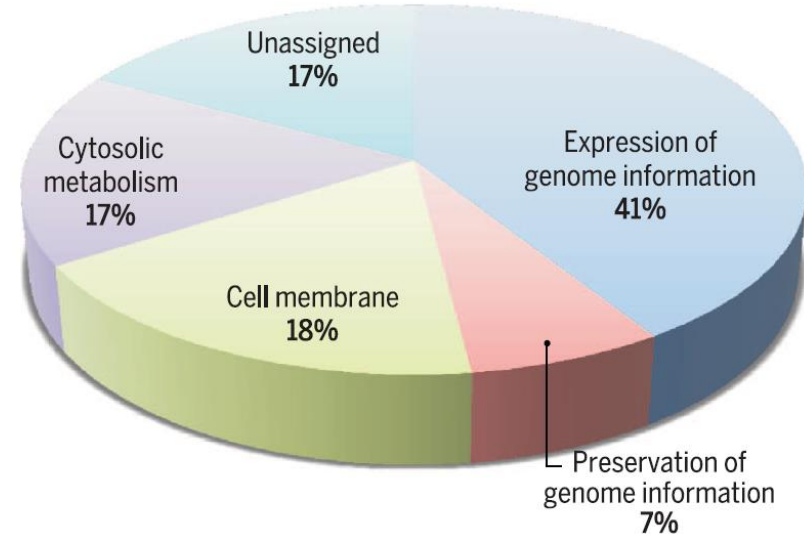
- Организмы могут **утрачивать** гены по разным причинам;
- Иногда гены могут **приобретаться** не от предка, а «горизонтально», от другого организма (т.н. «horizontal gene transfer»)

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

3. 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!

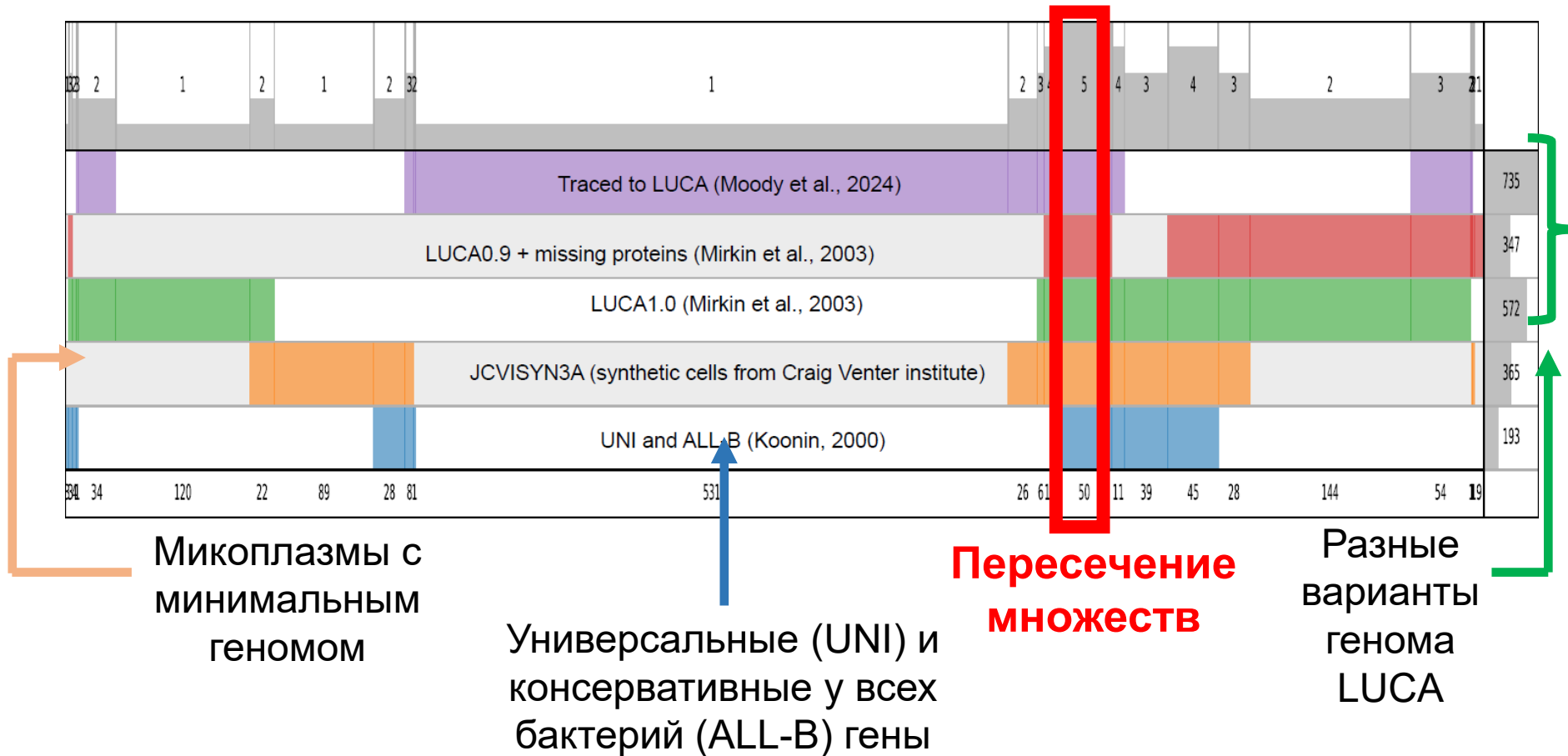


**Функциональные группы
в «минимальном наборе
генов»
(из работы 2016 г.)**

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

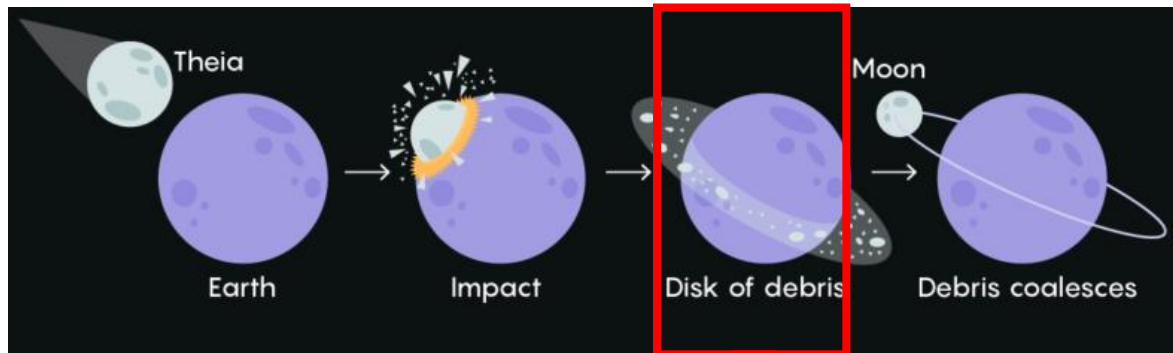
Параметр	Важные для функции Me^+	Важные для функции Me^{2+}	Me^{2+} в структурах белков
Рибосомные белки	-	-	Mg^{2+} , Zn^{2+}
тРНК-синтетазы	K^+	Mg^{2+} , Zn^{2+}	Mg^{2+} , Zn^{2+}
Другие белки трансляции	-	Mg^{2+} / Zn^{2+}	Mg^{2+} / Zn^{2+}
Факторы трансляции	K^+	Mg^{2+}	Mg^{2+}
Метаболизм	-	Mg^{2+}	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

4. При чем тут Луна?!

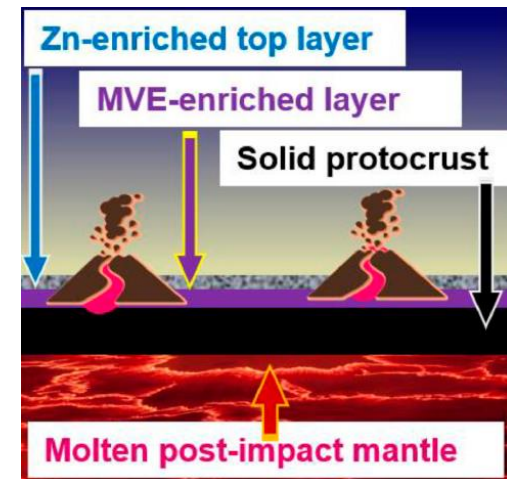
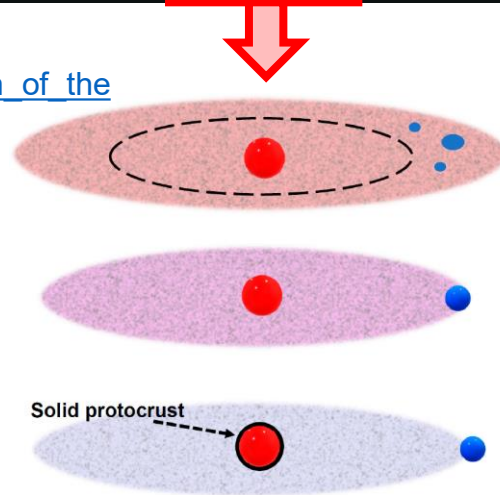
Луна обеднена умеренно летучими элементами, в том числе K^+ и Zn^{2+} , по сравнению с Землей



Модель ударного формирования Луны

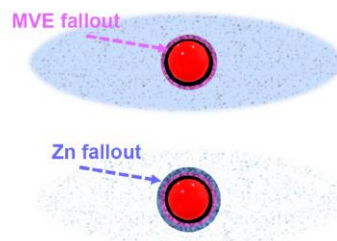
Источник рисунка:

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



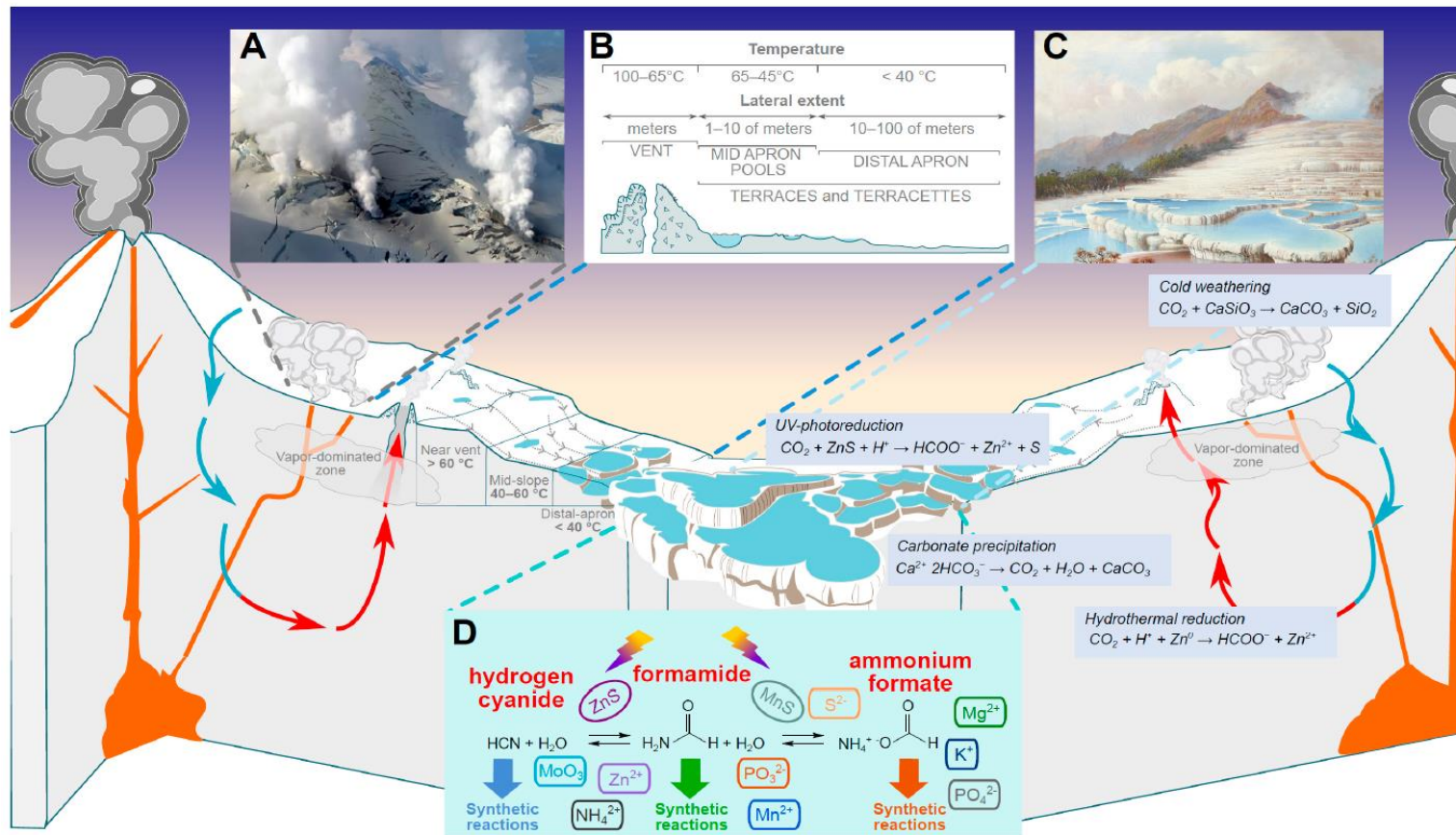
Выпадение умеренно летучих элементов (MVE)

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.

Недавно 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*

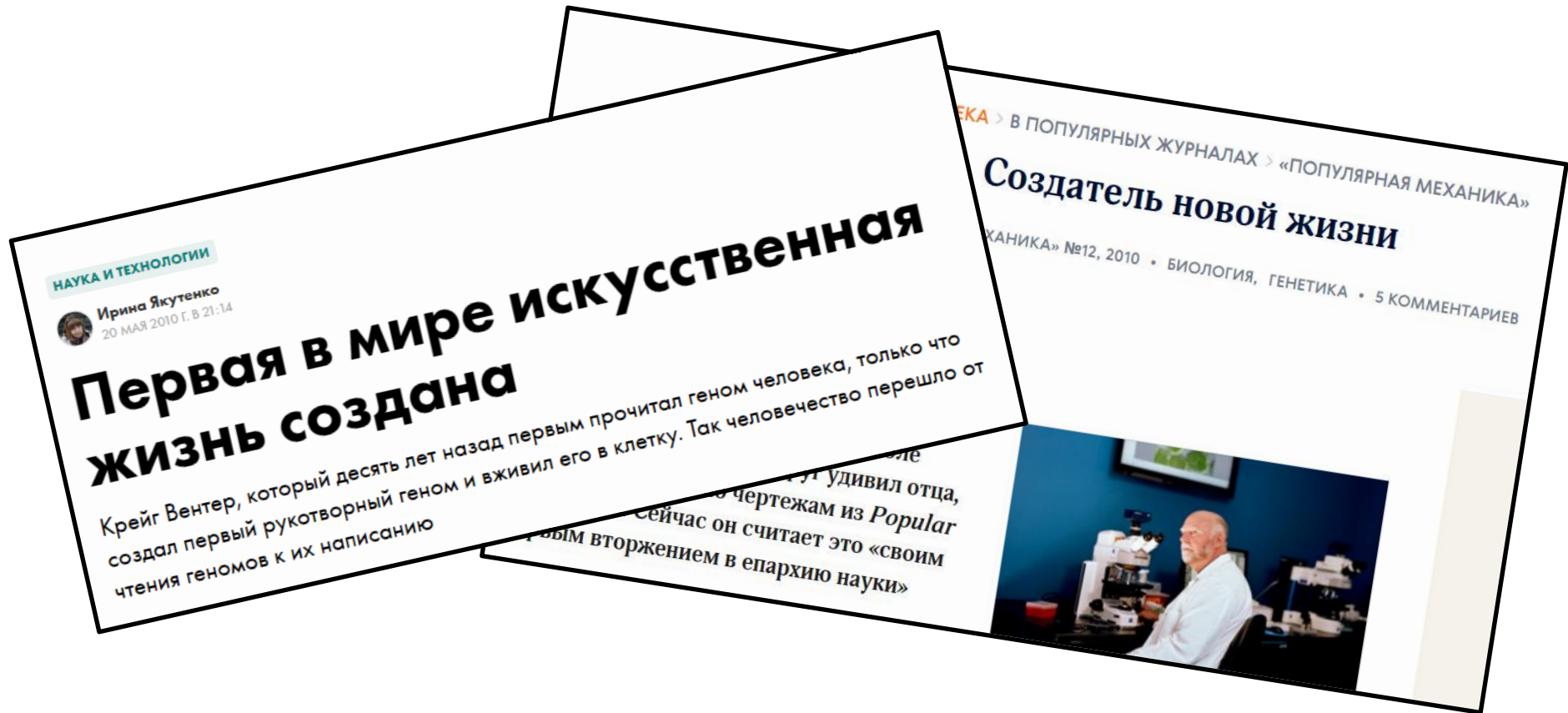
...

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

...

*Гёте. «Фауст»
(перевод Б.Пастернака)*

Реакция на создание бактерии с минимальным геномом в 2010 г. была очень бурной



Хотя есть и намного более взвешенные оценки, см.:

<https://www.trv-science.ru/2010/05/ximery-krejga-ventera/>