

ШЕСТОДНЕВ, ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. НЕДОСТАТОЧНОСТЬ НАБЛЮДАЕМОЙ ВСЕЛЕННОЙ ДЛЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

ЧАСТЬ 2

Василий Васильевич Иваненков

кандидат биологических наук
независимый исследователь
ivanenvasv@gmail.com

Для цитирования: Иваненков В. В. Шестоднев, пространство и время. Недостаточность наблюдаемой Вселенной для возникновения живой природы. Часть 2 // Библейские схолии. 2025. № 2 (11). С. 53–74. DOI: 10.31802/BSCH.2025.11.2.004

Аннотация

УДК 2-172.2

Мир Шестоднева (Быт. 1) и наблюдаемая Вселенная соотносятся в двухвекторной модели как два состояния пространственно-временного континуума. Согласно модели, живая природа, созданная Богом в первозданном пространстве-времени, вследствие грехопадения и «проклятия земли» (Быт 3:17) оказалась в изменённом пространстве-времени падшего мира. Модель предсказывает, что наблюдаемый мир недостаточен для возникновения жизни. Во второй части статьи проведена проверка этого предсказания для подтверждения или опровержения модели. Проанализирована научная литература о происхождении жизни. Показано, что процессы хранения, копирования, передачи и реализации наследственной информации лежат в основе жизнедеятельности организмов и являются определяющим признаком, отличающим живое от неживого. Поэтому проблема возникновения жизни сводится не только и не столько к выяснению происхождения носителей генетической информации — молекул ДНК и РНК, сколько к объяснению возникновения самой информации, то есть инструкций генетической программы, закодированных в последовательности нуклеотидов ДНК или РНК, необходимых для функционирования первой «минимальной клетки». Поскольку неживая природа не пишет программы,

а вероятность спонтанного синтеза «минимального генома» в наблюдаемой Вселенной за время её существования исчезающе мала, единственное натуралистическое объяснение происхождения биологической информации, высказанное учёными в научных работах, состоит в гипотезе мультивселенной. Предполагают, что в бесконечном множестве вселенных неизбежно существуют миры, подобные нашему, где случайные химические реакции привели к образованию генома простейшей живой системы. Научные данные и выводы учёных, представленные в этих работах, подтверждают предсказание двухвекторной модели о недостаточности наблюдаемой Вселенной для возникновения живой клетки и тем самым подтверждают модель.

Ключевые слова: сотворение мира, Шестоднев, грехопадение, пространство-время, двухвекторная модель, происхождение жизни, генетическая информация, минимальный геном, минимальная клетка, мультивселенная.

Creation, space, and time: The insufficiency of the observable universe for the origin of living nature

Part 2

Ivanenkov Vasily V.

PhD in Biology
Independent researcher
ivanenvasv@gmail.com

For citation: Ivanenkov V. V. "Creation, space, and time: The insufficiency of the observable universe for the origin of living nature. Part 2". *Biblical scholia*, No 2 (11), 2025, pp. 53–74 (in Russian). DOI: 10.31802/BSCH.2025.11.2.004

Abstract. The two-vector model relates the biblical world of creation (Gen. 1) and the observable universe as two states of the space-time continuum. Created by God in the original space-time, living nature, due to the Fall and the «curse of the ground» (Gen. 3:17), ended up in the altered space-time of the fallen world. The model predicts that the observable world is insufficient for the emergence of life. This prediction is tested in the second part of the article to confirm or refute the model. The scientific literature on the origin of life is analyzed. It is shown that the processes of storing, copying, transmitting, and implementing hereditary information underlie the vital activity of organisms and are the defining features distinguishing the living from the nonliving. Therefore, the problem of the origin of life comes down not only and not so much to revealing the origin of the genetic information carriers – DNA and RNA molecules – but to explaining the emergence of functionally meaningful information as such; that is, a genetic program consisting of a sequence of «symbols» – nucleotides in a DNA or RNA molecule, necessary for the functioning of the first «minimal» cell. Since nonliving nature does not write programs, and the probability of spontaneous synthesis of a functionally significant nucleotide sequence in the universe during its existence is vanishingly small, the only naturalistic explanation of the origin of biological information put forward by scientists in scientific papers is the multiverse hypothesis. It is assumed

that in an infinitely large ensemble of universes, worlds similar to ours inevitably exist, where random processes led to the synthesis of the genome of the simplest living system. Scientific data and conclusions of scientists presented in these papers confirm the prediction of the two-vector model about the insufficiency of the observable universe for the emergence of a living cell and, therefore, confirm the model.

Keywords: creation, six days of creation, fall, space-time, two-vector model, origin of life, genetic information, minimal genome, minimal cell, multiverse.

Введение

В ранее предложенной двухвекторной модели первозданный мир Шестоднева (Быт. 1) и наблюдаемая Вселенная соотносятся как два состояния пространственно-временного континуума¹. Согласно модели, живая природа, созданная сверхъестественным образом по слову Творца в первозданном пространстве-времени, вследствие грехопадения и «проклятия земли» (Быт 3:17) оказалась в изменённом пространстве-времени наблюдаемого падшего мира. Модель предсказывает, что в наблюданной Вселенной не было и нет механизмов², способных привести к появлению жизни. Или, другими словами, наш мир недостаточен для возникновения живой природы.

Во второй части статьи мы рассмотрим научные данные и представления учёных о происхождении жизни и сравним их с предсказанием двухвекторной модели с целью её проверки.

Omnis cellula e cellula: всякая клетка от клетки

Древние мыслители допускали спонтанное формирование живых существ из неживого вещества. Так, Аристотель (IV век до Р.Х.) писал о самопроизвольном возникновении животных, жизненный цикл которых был для него неизвестен, — таких, как губки, морские ежи, асцидии, насекомые и некоторые рыбы^{3,4}. Однако, начиная с периода Научной

1 См. Часть 1, а также подробное описание модели в статье: Иваненков В. В. Шестоднев, грехопадение и время [Электронный ресурс]. URL: <https://bogoslov.ru/article/6192985> (дата обращения: 21.08.2024).

2 Здесь и далее понятие «механизм» означает «совокупность состояний и процессов, из которых складывается какое-л. физическое, химическое, физиологическое и т.п. явление». См.: Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; Под ред. А. П. Евгеньевой. М., 1999. [Электронный ресурс]. URL: <http://feb-web.ru/feb/mas/mas-abc/13/ma226228.htm?cmd=0&istext=1> (дата обращения: 21.08.2024).

3 Аристотель. О возникновении животных. М.–Л., 1940. Книга первая. С. 52–53. Книга третья. С. 158.

4 В частности, о происхождении насекомых и паукообразных Аристотель пишет:
 «Одни из этих животных происходят от родителей, например, фаланги и пауки от фаланг и пауков, также и аттелабы, акриды и цикады; другие не от животных, а возникают самопроизвольно: одни от росы, которая падает на листья, согласно природе – весной, но нередко и зимой, когда ясная погода и южные ветры делятся долгое время; другие возникают в гниющих грязи и навозе; третьи – в деревьях, либо растущих, либо высохших; четвёртые – в волосах животных; пятые – в мясе животных; ещё иные – в испражнениях

революции вся история становления и развития биологии как экспериментальной науки сопровождалась последовательным и систематическим опровержением теории самозарождения жизни.

В XVII веке итальянский врач и натуралист Франческо Реди подверг экспериментальной проверке бытовавшее мнение о спонтанном возникновении личинок мух в гниющем мясе. С помощью простых опытов он установил, что личинки развивались только в открытых контейнерах с мясом, когда муhi могли отложить на него яйца, но никогда не возникали из мяса в закрытых контейнерах. Этим экспериментом он опроверг продержавшееся два тысячелетия заблуждение о самозарождении личинок насекомых⁵. В XVIII столетии итальянский священник и физиолог Ладзаро Спалланцани показал, что не только крупные животные, но и микроскопические формы жизни не образуются самопроизвольно. В его опытах микроорганизмы никогда не появлялись в герметически закрытых сосудах с питательной средой, простерилизованной в кипящей воде⁶. В середине XIX века эту линию исследований продолжил французский химик и микробиолог Луи Пастер. Он подтвердил данные Спалланцани и показал, что в колбах со стерилизованным бульоном рост микробов наблюдался только вследствие контаминации — попадания микробов из окружающей среды⁷. Опыты Пастера убедительно опровергли теорию самозарождения, показав разрыв между неживой и живой природой.

В это же время немецкие учёные — ботаник Маттиас Шлейден и физиолог Теодор Шванн — обнаружили универсальность клеточного строения растений и животных, однако ошибочно полагали, что клетки формируются путём агрегации или «кристаллизации» внутриклеточного или внеклеточного вещества. Теория зарождения клеток из неклеточного материала вскоре была опровергнута работами Роберта Ремака, Рудольфа Вирхова и Альберта Кёлликера, в которых было установлено, что новые клетки образуются в результате деления ранее существовавших клеток. Эти открытия легли в основу важнейшего научного обобщения — клеточной теории:

или выведенных наружу, или находящихся ещё в теле животных, как, например, глисты» [Аристотель. История животных. М., 1996. Книга пятая. С. 218].

- 5 Redi F. Experiments on the generation of insects / translated from the Italian Edition of 1688 by M. Bigelow. Chicago, 1909. P. 26–36. [Электронный ресурс]. URL: <https://archive.org/details/experimentsongen00redi/page/n5/mode/2up> (дата обращения: 21.08.2024).
- 6 Doetsch R. N. Lazzaro Spallanzani's *Opuscoli* of 1776 // Bacteriological Reviews. 1976. Vol. 40. P. 270–275.
- 7 Smith K. A. Louis Pasteur, the Father of Immunology? // Frontiers in Immunology. 2012. Vol. 3. Art. 68. P. 1–10.

- 1) Клетка является элементарной и универсальной единицей живой природы. Все живые организмы состоят из клеток.
- 2) *Omnis cellula e cellula⁸* — всякая клетка (происходит. — *B. I.*) от клетки⁹.

За последующие полтора века клеточная теория получила абсолютное подтверждение в бесчисленных наблюдениях и экспериментах. Попытки так или иначе пересмотреть положения клеточной теории оказались несостоительными и были категорически отвергнуты научным сообществом¹⁰.

Таким образом, два выдающихся достижения биологической науки в XIX веке — опровержение теории спонтанного зарождения жизни и создание клеточной теории — подтверждают предсказание двухвекторной модели о том, что в наблюдаемом мире не существует механизмов, способных создать живые организмы из неживого материала.

Программное обеспечение для минимальной клетки

Прорывные открытия XX столетия и огромный прогресс в изучении живой клетки позволяют понять молекулярные основы клеточной теории и объясняют причины, почему живые организмы не зарождаются самопроизвольно. Открытие строения двойной спирали ДНК в 1953 г.¹¹ и расшифровка генетического кода выявили ключевую роль информационных процессов в феномене жизни. Наследственность — способность организмов передавать информацию о своих свойствах и характерных чертах потомкам — является определяющим признаком жизни. «Это явление, — пишут авторы «Молекулярной биологии клетки» (2008), — отличает жизнь от других процессов — таких, как рост кристалла, или горение свечи, или образование волн на воде, в которых образуются упорядоченные структуры, но без связи между особенностями родителей и характерными признаками потомства. Подобно пламени

8 Вероятно, этот тезис впервые высказал Франсуа Распайль [*Wright N. A., Poulsom R. Omnis Cellula e Cellula Revisited: Cell Biology as the Foundation of Pathology* // *Journal of Pathology*. 2012. Vol. 226. P. 145–147].

9 *Virchow R. L. K. Cellular Pathology as Based upon Physiological and Pathological Histology / translated by F. N. Chance. London, 1860. P. 27–28.* Вермель Е. М. История учения о клетке. М., 1970. С. 86–91. *Mazzarello P. A Unifying Concept: the History of Cell Theory* // *Nature Cell Biology*. 1999. Vol. 1. P. E13–E15.

10 *Вермель Е. М. История учения о клетке. С. 239–246.*

11 *Уотсон Д. Д. Двойная спираль. Открытие структуры ДНК. М., 2019.*

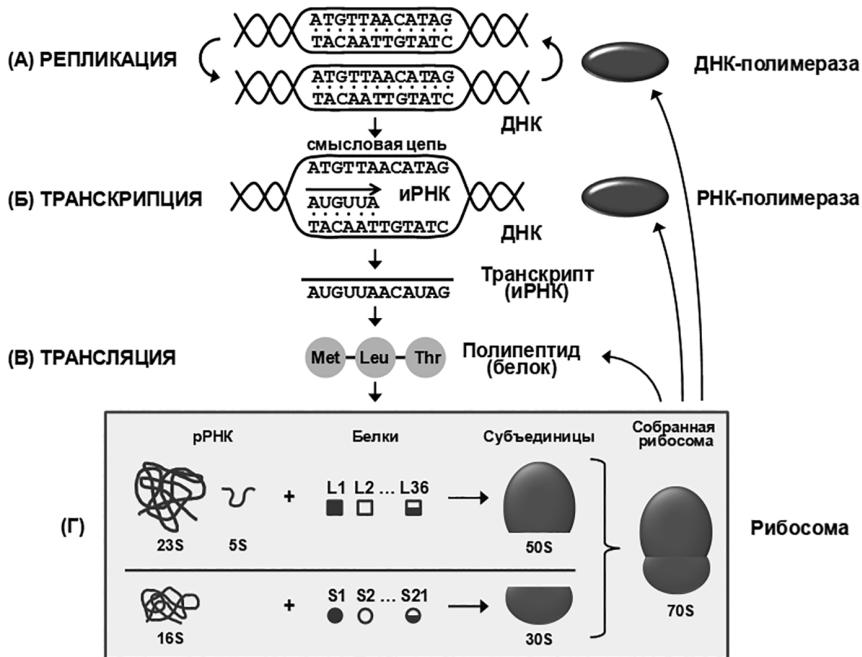


Рис. 1. Информационные процессы в клетке

свечи, живой организм потребляет свободную энергию для создания и поддержания своей организации; но свободная энергия управляет чрезвычайно сложной системой химических процессов, которая определяется наследственной информацией. <...> И построенная в соответствии с этой информацией клетка содержит в себе механизм, способный собирать из окружающей среды строительные материалы и создавать из них новую копию клетки вместе с копией генетической информации. Ничто более простое, чем клетка, не обладает такой способностью¹².

Таким образом, живая клетка представляет собой сложную молекулярную машину, находящуюся вдали от термодинамического равновесия, которая поддерживает свою структуру и строит себе подобные клетки в соответствии с генетической программой. Процессы хранения, копирования, передачи и реализации генетической информации лежат в основе жизнедеятельности клетки. Краткий обзор этих механизмов поможет нам понять, почему клетки не возникают спонтанно, но образуются только путём деления предсуществующих клеток: *omnis cellula e cellula* (рис. 1).

(А) Наследственная, или генетическая, информация содержится в полимерной двухцепочечной молекуле ДНК в виде последовательности четырёх видов дезоксирибонуклеотидов, отличающихся по азотистому основанию: А (аденин), Т (тимин), Г (гуанин) и С (цитозин). Нуклеотиды одной цепи избирательно связываются с нуклеотидами другой цепи комплементарным образом: А–Т и Г–С. Генетическая информация копируется путём *репликации* ДНК. В этом процессе двойная спираль расплетается и каждая из двух цепей служит матрицей для синтеза новой комплементарной цепи с помощью фермента ДНК-полимеразы. В результате образуются две одинаковые двухцепочечные молекулы ДНК. Этот процесс обеспечивает передачу идентичной (кроме редких ошибок — мутаций) наследственной информации от материнской клетки к дочерним в ходе клеточного деления. В процессе *транскрипции* (Б) последовательность нуклеотидов ДНК «переписывается» в последовательность рибонуклеотидов одноцепочечной молекулы РНК. Азотистое основание одного из нуклеотидов РНК — урацил (U) — отличается от тимина (T) в аналогичном нуклеотиде ДНК. Мономеры РНК выстраиваются на матричной цепи ДНК по принципу комплементарного взаимодействия: А–Т, У–А, Г–С. Синтез РНК осуществляется ферментом РНК-полимераза. В полимере иРНК (информационная РНК) содержится та же информация, что и в смысловой (кодирующей) цепи ДНК. Затем в процессе *трансляции* (В) генетическая информация переводится с «языка» нуклеотидов РНК на «язык» аминокислот белковой (полипептидной) цепи. Перевод осуществляется согласно универсальному «словарю» — генетическому коду, в котором каждой из 20 аминокислот соответствует тройка нуклеотидов иРНК (триплет, или кодон). Изображённые на рисунке триплеты AUG, UUA и ACA кодируют аминокислоты метионин (Met), лейцин (Leu) и треонин (Thr), а стоп-кодон UAG кодирует окончание синтеза. В составе полипептида аминокислотные звенья называются аминокислотными остатками. Типичный белок с молекулярной массой 50 000 дальтон содержит около 450 аминокислотных остатков. Взаимодействие боковых групп аминокислотных остатков друг с другом и с окружающей средой приводит к сворачиванию полипептидной цепи в уникальную трёхмерную структуру, в результате чего белок становится функционально активным. Белки выполняют основные функции и определяют характерные признаки клетки. (Г) *Строение рибосомы*. Все живые организмы синтезируют белки на сложных молекулярных машинах — рибосомах. Рибосома состоит из двух частей (субъединиц), построенных из 3 (у прокариот) или 4

(у эукариот) молекул рибосомных РНК (рРНК) и более 50 молекул рибосомных белков. Информационные функции нуклеиновых кислот и катализитические функции белков образуют автокаталитический цикл: нуклеиновые кислоты направляют синтез белков на рибосомах, а белки катализируют синтез нуклеиновых кислот (ДНК-полимераза и РНК-полимераза) и формируют новые рибосомы, обеспечивая таким образом рост и размножение клетки. Для создания рисунка использованы данные из книги *Molecular cell biology* (2000)¹³.

Поток генетической информации от ДНК к РНК и белкам¹⁴ в процессах репликации, транскрипции и трансляции является определяющим признаком живых организмов, отличающим живое от неживого. Проводя аналогию с компьютером, можно сказать, что клетка состоит из «аппаратных средств» — сложной молекулярной машины — и генетической программы, записанной в виде последовательности нуклеотидов ДНК, которая инструктирует клеточный механизм, как поддерживать свою структуру и строить свои копии. Для выполнения этих функций необходимо достаточно большое программное обеспечение. Легко прикинуть, что только РНК и белки, составляющие рибосому прокариот (рис. 1Г), кодируются последовательностью из более чем 25 000 пар нуклеотидов ДНК^{15,16}. А какой объём генетической информации требуется для синтеза всех жизненно важных РНК и белков клетки?

Учёным из Института Дж. Крейга Вентера (США) удалось экспериментально определить минимальный набор генов, необходимый для поддержания жизнедеятельности свободноживущей бактериальной клетки. В серии работ, выполненных на паразитических бактериях из рода *Mycoplasma*, имеющих наименьшие геномы среди свободноживущих организмов, учёные определили все жизненно важные гены, синтезировали копии этих генов и построили из них минимальный

13 *Lodish H. F., et al. Molecular Cell Biology*. New York, 2000.

14 Это обобщение известно как центральная догма молекулярной биологии.

15 Пара нуклеотидов, или п. н., состоит из одного нуклеотида кодирующей цепи и спаренного с ним нуклеотида комплементарной цепи двухцепочечной молекулы ДНК.

16 Общая длина трёх рибосомных РНК составляет приблизительно ($2900 + 1500 + 120 = 4520$) нуклеотидов [*Lodish H. F., et al. Molecular Cell Biology*]. Средняя масса рибосомных белков составляет порядка 15 000 дальтон [*Nikolay R., et al. Ribosomal Proteins: Role in Ribosomal Functions // eLS. 2015. P.1–12*], что соответствует полипептидной цепи, состоящей из ($15\ 000 : 110 = 136$) аминокислотных остатков, кодируемых последовательностью из ($136 \times 3 = 408$) пар нуклеотидов (п. н.) ДНК. Таким образом, генетическая информация, необходимая для синтеза 50 рибосомных белков (408 п. н. $\times 50 = 20400$ п. н.) и трёх рибосомных РНК (4520 п. н.), содержится в последовательности порядка 25 000 п. н. ДНК.

геном¹⁷ в виде кольцевой молекулы ДНК. В недавно опубликованной статье¹⁸ сообщается о синтезе генома размером около 531 000 п. н., состоящего из 473 генов, необходимых для жизнедеятельности *Mycoplasma mycoides* (геном исходной бактерии содержит 901 ген и имеет в два раза больший размер). Авторы трансплантировали синтезированный геном в клетку другого вида *Mycoplasma*, собственный геном которой был удалён, и показали способность новой бактерии к росту и размножению. Гены минимального генома можно подразделить на четыре основных категории в соответствии с функциями кодируемых ими белков и РНК: 1) экспрессия генетической информации — транскрипция и трансляция — 195 генов, 41%; 2) сохранение генетической информации — репликация и репарация (ремонт) ДНК — 34 гена, 7%; 3) структура и функция клеточной мембраны — 84 гена, 18%; 4) клеточный метаболизм — 81 ген, 17%. Функции остальных 79 генов (17%) неизвестны; авторы предполагают, что большинство из них попадут в названные категории, но некоторые могут выполнять иные функции¹⁹. Таким образом, примерно половина генетической информации минимальной клетки необходима для осуществления процессов репликации, транскрипции и трансляции, изображённых на рис. 1.

Можно предполагать, что тщательный анализ каждого гена и конструкции в целом позволит выявить небольшие участки ДНК, без которых можно обойтись, но радикальное сокращение генома свободноживущей бактерии — например, от 531 000 п. н. до 100 000 п. н. — представляется принципиально невозможным. Это привело бы к уменьшению длины полипептидных цепей белков в несколько раз, нарушению их трёхмерной структуры и потере функциональности.

С позиций современных знаний вполне понятно, почему живые организмы не зарождаются спонтанно, как думали в древности. Для функционирования простейшей живой системы — минимальной клетки — требуется большой объём генетической информации (порядка 500 000 п. н. x 2 бита/п. н. = 1 000 000 бит = 125 000 байт). Однако неживая природа не пишет программы, а вероятность случайного соединения четырёх видов нуклеотидов (A, T, G и C) в функциональную

17 Минимальный геном — это минимальный набор генов, необходимый для существования живой клетки. Минимальная клетка — это клетка с минимальным геномом [Glass J. I., et al. Minimal Cells – Real and Imagined // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. 2017. Vol. 9. Art. a023861].

18 Hutchison C. A. 3rd, et al. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome // Science. 2016. Vol. 351. P. aad6253-1–aad6253-11.

19 Ibid.

последовательность длиной 500 000 п. н. исчезающе мала (см. обсуждение ниже). Таким образом, отсутствие в неживой природе программного обеспечения для клетки делает невозможным самозарождение жизни.

Философская необходимость: назад к теории спонтанного зарождения

Оправдание теории спонтанного возникновения живых организмов поставило учёных в безвыходное положение. Нобелевский лауреат Джордж Уолд писал в 1954 г. в статье «Происхождение жизни»: «Около века назад вопрос «Как началась жизнь?», который интересовал людей на протяжении всей их истории, зашёл в тупик. До того времени было предложено два ответа: один, что жизнь была создана сверхъестественным образом, другой, что она постоянно возникает из неживого. Первое объяснение лежит вне науки; второе оказалось несостоятельным. <...> Третьей позиции нет. По этой причине многие учёные столетие назад считали веру в самозарождение «философской необходимостью». <...> Большинство современных биологов, с удовлетворением рассматривая крах гипотезы спонтанного зарождения, но не желая принять альтернативную веру в особое творение, остаются ни с чем. <...> Я полагаю, что у учёного нет иного выбора, кроме как подойти к вопросу о происхождении жизни через гипотезу самозарождения»²⁰.

Действительно, спустя 70 лет после публикации статьи Уолда гипотеза спонтанного зарождения (абиогенез) является единственным научным ответом на вопрос о происхождении жизни. В отличие от Аристотеля, предполагавшего регулярное самозарождение живых организмов, многие современные биологи считают, что жизнь возникла спонтанно только один раз, когда условия на молодой Земле сильно отличались от современных. Считают также, что первые живые структуры имели сравнительно простое строение и поэтому вероятность их образования была не столь ничтожно мала, как у современной минимальной клетки.

Наиболее популярной идеей возникновения жизни на Земле является гипотеза мира РНК, впервые высказанная американским биофизиком Александром Ричем в 1962 г.^{21,22}. Предполагается, что современной

20 Wald G. The Origin of Life // Scientific American. 1954. Vol. 191. P. 46.

21 Rich A. On the Problems of Evolution and Biochemical Information Transfer // Horizons in Biochemistry / ed. M. Kasha, B. Pullman. New York, 1962. P. 103–126.

22 Термин «мир РНК» ввёл Уолтер Гилберт в 1986 году [Gilbert W. The RNA world // Nature. 1986. Vol. 319. P. 618].

ДНК-РНК-белковой форме жизни, в основе которой лежат процессы реализации генетической информации в направлении ДНК→РНК→белки (рис. 1), предшествовала первичная форма, состоявшая исключительно из РНК. Молекулы РНК выполняли не только функции хранения, копирования и передачи генетической информации, но также структурные и катализитические функции, свойственные белкам. Последующая эволюция древнего мира РНК привела к возникновению генетического аппарата, основанного на ДНК, механизма синтеза белка и в конце концов — к современной форме жизни, основанной на ДНК, РНК и белках. Спонтанное возникновение самореплицирующихся молекул РНК представляется учёным более правдоподобным сценарием, чем одновременное образование сложных и взаимозависимых механизмов репликации, транскрипции и трансляции с участием ДНК, РНК и белков.

Гипотеза мира РНК имеет ряд принципиальных проблем²³. Российско-американский биолог Евгений Кунин²⁴ обращает внимание на два парадокса, связанных с возникновением репликации и трансляции²⁵. Во-первых, чтобы могла идти биологическая эволюция и обеспечивалась генетическая преемственность, репликация генома должна быть достаточно быстрой (превышать скорость распада родительских молекул) и достаточно точной (количество ошибок на геноме должно быть меньше порогового значения, превышение которого ведёт к ещё большему накоплению ошибок и утрате значимой информации — так называемая «катастрофа ошибок»). Известные репликазы, удовлетворяющие этим требованиям, — например, РНК-зависимые РНК-полимеразы вирусов — представляют собой сложные белки, синтезированные на рибосомах и состоящие из нескольких сотен аминокислотных остатков. Отсюда возникает первый парадокс: «для достижения минимальной

- 23 Брежестовский П. Д. «Мир РНК» – сверхмаловероятный сценарий происхождения и начальной эволюции жизни на Земле // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2015. Т. 51. Вып. 1. С. 64–74. Le Vay K., Mutschler H. The Difficult Case of an RNA-only Origin of Life // Emerging Topics in Life Science. 2019. Vol. 3. P. 469–475.
- 24 Евгений Викторович Кунин [URL: https://elementy.ru/bookclub/author/5273036/evgeniy_viktorovich_kunin] является всемирно признанным экспертом в области сравнительной геномики и эволюционной биологии, автором 1056 научных статей (данные PubMed на 27 июня 2024 г.). По данным Semantic Scholar за 2017 г., он входит в десятку наиболее влиятельных учёных в области биологии и медицины [Chawla, D. S. Who's the Most Influential Biomedical Scientist? Computer Program Guided by Artificial Intelligence Says it Knows // Science. News. 17 October 2017].
- 25 Koonin E. V. The Cosmological Model of Eternal Inflation and the Transition From Chance to Biological Evolution in the History of Life // Biology Direct. 2007. Vol. 2. Art. 15.

сложности, необходимой для того, чтобы биологическая система начала идти по пути биологической эволюции, требуется гораздо более сложная, высоко развитая система. Как такая система может возникнуть — это загадка, превосходящая традиционное эволюционное мышление»²⁶.

Во-вторых, аппарат трансляции (механизм синтеза белка на рибосоме, рис. 1Г) современных клеток состоит из многих компонентов — молекул РНК и белков, необходимых для функционирования системы в целом. Вольф и Куинн²⁷, а также ряд других авторов, предложили несколько умозрительных сценариев того, как могла бы образоваться и работать простейшая система трансляции в мире РНК без белков. Но, как отмечают сами авторы, для функционирования самой примитивной формы трансляции «основные компоненты должны быть уже на местах»²⁸. И здесь возникает второй парадокс: предполагается, что система трансляции произошла путём дарвиновского естественного отбора, однако до тех пор, пока эта сложная молекулярная машина не начнёт работать как единое целое и производить функциональные белки, эволюция её частей не даёт селективного преимущества системе²⁹.

В концептуальном плане для функционирования механизмов репликации и трансляции требуется некоторая минимальная степень сложности системы, определяемая количеством составляющих частей и характером их взаимодействий. «Биологическая эволюция, — пишет Куинн, — не может начаться, пока не появятся полимеры (скорее всего, молекулы РНК) и средства для их устойчивой репликации. Таким образом, синтез нуклеотидов и (по крайней мере) полинуклеотидов среднего размера не мог эволюционировать биологически и должен был возникнуть abiогенно, т. е. случайно... С другой стороны, не может быть... сомнений в том, что первые клетки появились в результате биологической эволюции. Где-то посередине находится переход, порог биологической эволюции»³⁰. По мнению Кунина, история возникновения жизни включает решающий переход от случая к биологической эволюции.

Чтобы избежать парадоксов и других проблем, связанных с возникновением репликации и трансляции в мире РНК, Куинн предполагает,

26 Ibid.

27 Wolf Y. I., Koonin E. V. On the Origin of the Translation System and the Genetic Code in the RNA World by Means of Natural Selection, Exaptation, and Subfunctionalization // Biology Direct. 2007. Vol. 2. Art. 14.

28 Koonin E. V. The Cosmological Model.

29 Ibid.

30 Ibid.

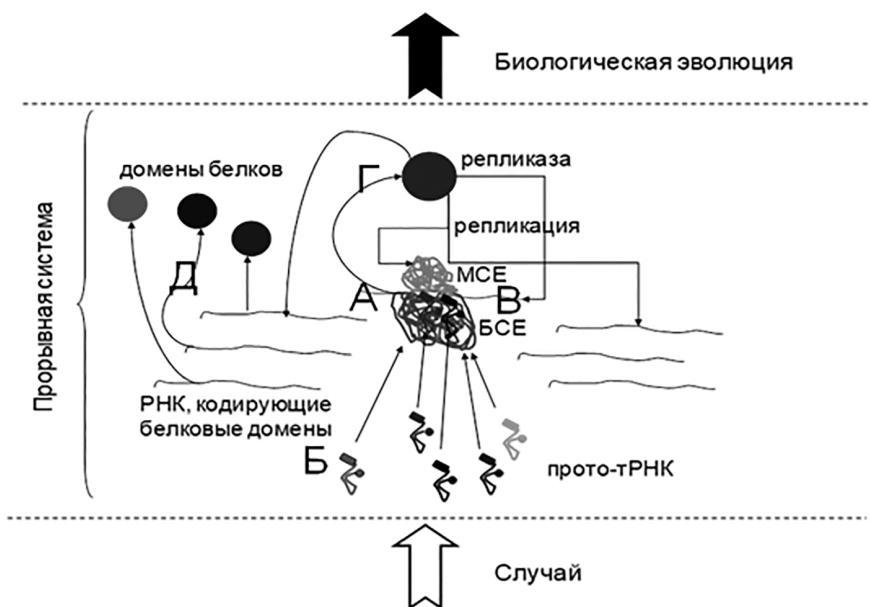


Рис. 2. Гипотетическая примитивная система репликации-трансляции на основе РНК. Переход от случая к биологической эволюции

что примитивная система репликации-трансляции, обеспечившая достаточно быстрое и точное копирование молекул РНК и белков, образовалась спонтанно. Это случайное событие положило начало биологической эволюции, которая в конце концов привела к образованию первой клетки, ставшей родоначальницей всех живых организмов на Земле (рис. 2).

Предполагается, что достаточно сложная система репликации-трансляции на основе РНК (прорывная система) возникла случайно и оказалась способной к биологической эволюции. Систему составляют следующие компоненты: (А) примитивная рибосома, состоящая из двух молекул РНК, свёрнутых в малую (МСЕ) и большую (БСЕ) субъединицы; (Б) десять видов транспортных РНК (прото-тРНК), доставляющих аминокислоты к рибосоме и распознающих соответствующие им кодоны матричной РНК; (В) РНК, кодирующая белок РНК-репликазу, — показана в виде волнистой линии на рибосоме; (Г) белок РНК-репликаза (тёмно-серый кружок), синтезированный на рибосоме на матрице РНК репликазы; (Д) РНК молекулы, кодирующие основные белковые домены

(участки полипептидной цепи, которые сворачиваются в характерные трёхмерные структуры независимо от остальной части цепи и часто выполняют определённые функции), а также синтезированные на них белки (тёмно-серые кружки). Предполагают также, что эта система способна обеспечить достаточно быстрое и точное копирование молекул РНК, белков и системы в целом, необходимое для перехода от случайных процессов abiогенеза к дарвиновской биологической эволюции. Рисунок взят из статьи: *Koonin E. V. The Cosmological Model of Eternal Inflation and the Transition from Chance to Biological Evolution in the History of Life // Biology Direct. 2007. Vol. 2. Art. 15.* [Электронный ресурс]. URL: <https://biologydirect.biomedcentral.com/articles/10.1186/1745-6150-2-15> (дата обращения: 17.07.2024) по лицензии Creative Commons Attribution 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>) со следующими изменениями: подписи переведены на русский язык и добавлены буквенные обозначения.

Но какова вероятность случайного возникновения «минимально сложной системы, способной к биологической эволюции»³¹ в пространстве нашей Вселенной за время её существования? Кунин даёт следующую оценку, которую мы приводим в сокращённом виде³².

Общие предположения: в наблюдаемой Вселенной содержится порядка 10^{22} звёзд; «у каждой десятой есть пригодная для жизни планета; то есть имеется 10^{21} таких планет (несомненно, это сильное преувеличение)»; «каждая планета размером с Землю, у каждой имеется пригодный для обитания слой толщиной 10 км (10^6 см); отсюда объём этого слоя $4/3\pi[R^3 - (R - l)^3] \approx 5 \times 10^{24}$ см³, где R — радиус планеты, l — толщина обитаемого слоя»; «синтез РНК происходит в 1% объёма обитаемого слоя — то есть в объёме 5×10^{22} см³ (опять сильное преувеличение — в действительности «фабрик РНК» будет очень мало)»; «попложим... скорость синтеза молекул РНК размера n ... за 1 молекулу/см³/сек (и снова сильное преувеличение для любой молекулы сколько-нибудь значительного размера; более того, не учтена обратная зависимость от n , которая должна быть достаточно сильной)»; «время после Большого взрыва... для всех планет 10^{10} лет $\approx 3 \times 10^{17}$ секунд».

«Тогда количество уникальных n -меров, опробованных за время после Большого взрыва, будет:

31 Кунин Е. В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М., 2014. С. 361. Цитируется по электронной версии книги.

32 Koonin E. V. The Cosmological Model. Кунин, Е. В. Логика случая. С. 405–406.

$$S \approx 5 \times 10^{22} \times 10^{21} \times 3 \times 10^{17} \approx 1,5 \times 10^{61}$$

Предположим, что для начала биологической эволюции требуется уникальный n -мер.

Количество возможных последовательностей, состоящих из n нуклеотидов (учитывая четыре типа нуклеотидов. — *В. И.*), $N = 4^n \approx 10^{0,6n}$.

Можно ожидать, что уникальный n -мер возникнет в О-области (наблюдаемой Вселенной. — *В. И.*) E раз:

$$E = S/N = 1,5 \times 10^{61}/10^{0,6n} \quad (1)$$

Кунин предполагает, что для спонтанного возникновения примитивной системы репликации-трансляции (рис. 2) достаточно набора из следующих молекул: «две рРНК (рибосомные РНК. — *В. И.*), с общим размером не менее 1000 нуклеотидов; примерно 10 примитивных адаптеров (транспортные РНК. — *В. И.*) по 30 нуклеотидов каждый, в целом около 300 нуклеотидов; по меньшей мере одна РНК, кодирующая репликазу, размером примерно 500 нуклеотидов (оценка снизу)». Общая длина последовательностей, $n = 1800$ (нуклеотидов).

Подставив это значение в формулу (1), получаем $E < 10^{-1018}$.

«Другими словами, даже в нашей игрушечной модели, которая предполагает сильно преувеличенную скорость синтеза РНК, вероятность случайного зарождения системы трансляция — репликация в единственной О-области (в наблюдаемой Вселенной. — *В. И.*) будет $P < 10^{-1018}$ »^{33,34}.

33 Там же.

34 Прикидки вероятности спонтанного возникновения в наблюдаемой Вселенной «прорывной системы», способной к самовоспроизведению и биологической эволюции (рис. 2), неизбежно являются крайне умозрительными. С одной стороны, как отмечает Кунин, принятые им исходные условия, способствующие синтезу РНК, чрезвычайно преувеличены. Если взять для расчёта более реалистичные показатели, то вероятность будет значительно ниже. С другой стороны, для функционирования гипотетической системы могут быть пригодны различные последовательности РНК, а не «уникальный n -мер», что существенно увеличит вероятность возникновения системы. Поскольку провести обоснованный учёт этих обстоятельств практически невозможно, мы приводим данные Кунина. Ничтожна малая вероятность ($P < 10^{-1018}$) не представляется заниженной. Так, только в одной рибосомной РНК, входящей в состав малой субъединицы рибосомы (обозначена МСЕ на рис. 2) было обнаружено 140 позиций, занятых инвариантными (идентичными) нуклеотидами у всех 1961 исследованных видов, принадлежащих к трём доменам жизни — бактериям, археям и эукариотам [Noller H. F., Donohue J. P., Gutell R. R. The Universally Conserved Nucleotides of the Small Subunit Ribosomal RNAs // RNA. 2022. Vol. 28. P. 623–644]. Эти данные свидетельствуют о том, что организмы с мутациями в этих позициях оказались нежизнеспособными и что уникальные нуклеотиды в 140 позициях необходимы для жизнедеятельности. Таким образом, даже в крайне преувеличенных благоприятных

Совершенно очевидно, что уровень сложности минимальной системы (рис. 2), способной, по мнению Кунина, к репликации, трансляции и дарвиновской эволюции, чрезвычайно занижен, и, соответственно, вероятность её спонтанного образования — крайне завышена. Во-первых, чтобы многокомпонентная система могла эволюционировать как единое целое, все части системы должны быть физически связаны друг с другом, и система должна обладать способностью передавать свою идентичность потомству³⁵. В современных клетках эти функции обеспечиваются клеточной мембраной и механизмом деления клеток (вспомним, что из 473 жизненно необходимых генов минимальной клетки 84 гена контролируют структуру и функцию мембранны³⁶). Однако в минимальной системе Кунина (рис. 2) нет ни мембраны, ни механизма деления. Чтобы выглядеть более правдоподобно, «прорывная система» должна быть дополнена как минимум липидной мембраной, трансмембранными белками, осуществляющими избирательный транспорт веществ между системой и средой, и молекулами РНК, кодирующими эти белки.

Во-вторых, для синтеза РНК и белков нужны строительные материалы, а также энергия в виде химических связей особых молекул — переносчиков энергии. Живая клетка создаёт эти компоненты из веществ окружающей среды в ходе многочисленных химических реакций, совокупность которых называется метаболизмом. Реакции метаболизма идут с достаточной скоростью благодаря тому, что катализируются белками-ферментами. Даже при нахождении минимальной клетки в исключительно благоприятной среде, содержащей аминокислоты и нуклеозиды (предшественники для синтеза нуклеотидов), как в вышеупомянутых опытах учёных в Институте Дж. Крейга Вентера, 81 ген из 473 генов минимального генома оказался необходим для поддержания метаболизма³⁷. Минимальная система Кунина (рис. 2) не содержит ни ферментов метаболизма, ни кодирующих их РНК, поэтому она явно недостаточна для поддержания своей структуры и функции.

В-третьих, предположение Кунина о том, что первичная рибосома, состоящая всего лишь из двух молекул рРНК (рис. 2), способна

условиях, принятых в расчётах Кунина, вероятность спонтанного синтеза в наблюдаемой Вселенной только небольшой части, состоящей из 140 нуклеотидов, всего лишь одной молекулы (МСЕ) многокомпонентной системы, изображённой на рис. 2, крайне мала (подставив $n = 140$ в формулу (1), получаем $P < 10^{-22}$).

³⁵ Monnard P. A., Walde P. Current Ideas About Prebiological Compartmentalization // Life. 2015. Vol. 5. P. 1239–1263.

³⁶ Hutchison C. A. 3rd, et al. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome.

³⁷ Ibid.

осуществлять трансляцию, не имеет экспериментальных оснований. Напротив, согласно современным представлениям, для функционирования рибосомы необходимы не только рибосомные РНК, но и рибосомные белки (см. рис. 1Г), а также белки-факторы трансляции. Методами сравнительной геномики установлено, что основной набор около 30 белков присутствует в рибосомах всех живых организмов³⁸, причём инактивация любого из них путём мутагенеза приводит к смерти клетки³⁹. При этом общее число жизненно необходимых белков, задействованных в механизме трансляции, включая внерибосомные белки, составляет порядка 100^{40,41}. Поэтому нет никаких оснований предполагать, что рибосома, построенная из двух молекул РНК, способна синтезировать белок и тем более делать это достаточно быстро и точно.

Как уже обсуждалось, единственной экспериментально обоснованной минимальной живой системой, способной к репликации и трансляции, является бактерия, содержащая синтетический геном размером около 500 000 пар нуклеотидов⁴². Хотя нельзя утверждать, что указанный геном является предельно малым, радикальное уменьшение размера — скажем, в 5–10 раз — потребовало бы исключить жизненно необходимые гены и поэтому представляется принципиально невозможным. Если основываться на экспериментальных данных, то пороговый уровень сложности системы, способной перейти от случая к биологической эволюции, следует поднять вплотную к минимальной клетке, описанной в работе учёных из Института Дж. Крейга Вентера⁴³. Соответственно, вероятность её спонтанного возникновения будет значительно меньше, чем 10^{-1018} , данная Куниным. Подставив $n = 500\,000$ в формулу (1), получаем $E < 10^{-299958}$. Таким образом, более правдоподобная оценка вероятности случайного зарождения системы репликации-трансляции в наблюдаемой Вселенной (P) будет находиться в интервале: $10^{-1018} \gg P > 10^{-299958}$.

- 38 Koonin E. V. Comparative Genomics, Minimal Gene-sets and the Last Universal Common Ancestor // *Nature Reviews Microbiology*. 2003. Vol. 1. P. 127–136.
- 39 Hutchison C. A. 3rd, et al. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome.
- 40 Ibid.
- 41 Grosjean H., et al. Predicting the Minimal Translation Apparatus: Lessons from the Reductive Evolution of *Mollicutes* // *PLOS Genetics*. 2014. Vol. 10. Art. e1004363.
- 42 Hutchison C. A. 3rd, et al. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome.
- 43 Ibid.

Самозарождение жизни в мультивселенной

«Глубокие трудности проблемы происхождения жизни, — пишет Кунин, — могут показаться непреодолимыми, что заставляет задаться весьма общими вопросами, выходящими за рамки биологии»⁴⁴. Для решения проблемы спонтанного возникновения системы репликации-трансляции Кунин привлекает гипотезу мультивселенной (или «мира многих миров», МММ)^{45,46} — ту самую идею, к которой обращаются физики для объяснения тонкой настройки физических параметров наблюдаемой Вселенной, допускающих существование жизни (см. Часть 1). В контексте бесконечного множества вселенных «вероятность реализации любого сценария, не запрещённого законами сохранения..., в точности равна единице»^{47,48}. Поэтому «спонтанное возникновение сложных систем, которое могло бы считаться практически невозможным в конечной вселенной, становится не только возможным, но и неизбежным в МММ...»⁴⁹.

Гипотезу самозарождения в мультивселенной высказали также российский физик Виталий Мазур⁵⁰ и японский астроном Тотани⁵¹. В обеих работах возникновение жизни связывается со «случайным синтезом первичной биологической молекулы (РНК. — В. И.), обладающей способностью к саморепликации (самокопированию)»⁵², положившей начало дарвиновской эволюции^{53,54}. Однако вероятность спонтанного образования функциональной последовательности, состоящей из нескольких сотен или тысяч нуклеотидов, в наблюдаемой Вселенной за время её существования настолько мала, что «с любой разумной точкой зрения соответствующее событие следует считать невозможным»⁵⁵.

44 Кунин, Е. В. Логика случая. С. 357.

45 Koonin E. V. The Cosmological Model.

46 Виленкин А. В. Мир множества миров. Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse? // Astronomy & Geophysics. 2008. Vol. 49. Р. 2.29–2.33

47 Koonin E. V. The Cosmological Model.

48 Кунин, Е. В. Логика случая. С. 358.

49 Koonin E. V. The Cosmological Model. Кунин, Е. В. Логика случая. С. 359.

50 Мазур В. А. Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 431. Вып. 2. С. 183–187.

51 Totani T. Emergence of Life in an Inflationary Universe // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Art. 1671.

52 Мазур В. А. Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни.

53 Там же.

54 Totani T. Emergence of Life in an Inflationary Universe.

55 Мазур В. А. Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни.

Для решения этой проблемы авторы обращаются к концепции инфляционной космологии, согласно которой, «видимая часть Вселенной составляет очень малую часть домена, образовавшегося в первоначальную эпоху быстрого раздувания Вселенной»⁵⁶. «Чрезвычайно большие размеры домена, — предполагает Мазур, — приводят к тому, что вероятность указанного синтеза в масштабах всего его объёма практически равна единице. Очевидно, Землю следует считать одной из тех планет, где это очень редкое событие произошло»^{57,58}.

Авторы всех трёх публикаций согласны в том, что «видимая Вселенная слишком мала, чтобы в ней за время её существования успела случайно образоваться первичная биологическая макромолекула»⁵⁹ или примитивная система репликации-трансляции⁶⁰, достаточные, по мнению авторов, для перехода от abiогенеза к биологической эволюции и появлению живой клетки.

Выходы

Таким образом, случайные события в гипотетической мультивселенной являются единственным натуралистическим объяснением возникновения генетической информации, необходимой для функционирования

56 Там же.

57 Там же.

58 В статьях Мазура и Тотани говорится о мультивселенной так называемого 1-го уровня, см. [Виленкин А. В. Мир множества миров. Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse?]. Большой домен, описанный Мазуром, означает всё пространство, возникшее в результате Большого взрыва и предполагаемого инфляционного расширения в первые доли секунды существования Вселенной, за которым последовало более медленное расширение, продолжающееся в настоящее время. В этом пространстве доступная для наблюдения Вселенная (O-область, observable region) ограничена сферой радиусом порядка 46 миллиардов световых лет (расстояние, которое прошёл свет с момента Большого взрыва около 14 миллиардов лет назад, учитывая расширение Вселенной за это время), см. [Lineweaver C., Davis T. M. Misconceptions about the Big Bang // Scientific American. 2005. Vol. 292. P. 36–45]. Предполагается, что объём домена в огромной степени пре-восходит O-область. Другими словами, домен можно рассматривать как очень большое множество участков пространства такого же объёма, как наблюдаемая Вселенная. Это и есть мультивселенная 1-го уровня. В статье и книге Кунина речь идёт о мультивселенной 2-го уровня, состоящей из большого числа пространственно не связанных доменов, возникших в результате множества независимых больших взрывов.

59 Мазур В. А. Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни. Totani T. Emergence of Life in an Inflationary Universe.

60 Koonin E. V. The Cosmological Model.

первой живой системы. Научные данные, представленные учёными, а также сам факт привлечения учёными гипотезы мультивселенской для объяснения происхождения жизни подтверждают предсказание двухвекторной модели о недостаточности наблюданной Вселенной для возникновения живой клетки и, следовательно, подтверждают модель.

Литература

- Аристотель. История животных. М.: центр РГГУ, 1996.
- Аристотель. О возникновении животных. М.–Л.: Академии Наук СССР, 1940.
- Брежестовский П. Д. «Мир РНК» — сверхмаловероятный сценарий происхождения и начальной эволюции жизни на Земле // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2015. Т. 51. Вып. 1. С. 64–74.
- Вермель Е. М. История учения о клетке. М.: Наука, 1970.
- Виленкин А. В. Мир множества миров. Физики в поисках иных вселенных. М.: АСТ, 2018.
- Иваненков В. В. Шестоднев, грехопадение и время [Электронный ресурс]. URL: <https://bogoslov.ru/article/6192985> (дата обращения: 20.08.2024).
- Кунин Е. В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф, 2014. Электронная версия книги.
- Мазур В. А. Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни // Доклады Академии Наук. 2010. Т. 431. Вып. 2. С. 183–187.
- Уотсон Д. Д. Двойная спираль. Открытие структуры ДНК. М.: АСТ, 2019.
- Alberts B., et al. Molecular Biology of the Cell. New York: Garland Science, 2008.
- Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse? // Astronomy & Geophysics. 2008. Vol. 49. P. 2.29–2.33.
- Doetsch R. N. Lazzaro Spallanzani's *Opuscoli* of 1776 // Bacteriological Reviews. 1976. Vol. 40. P. 270–275.
- Gilbert W. The RNA World // Nature. 1986. Vol. 319. P. 618.
- Glass J. I., et al. Minimal Cells — Real and Imagined // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. 2017. Vol. 9. Art. a023861.
- Grosjean H., et al. Predicting the Minimal Translation Apparatus: Lessons From the Reductive Evolution of *Mollicutes* // PLOS Genetics. 2014. Vol. 10. Art. e1004363.
- Hutchison C. A. 3rd, et al. Design and Synthesis of a Minimal Bacterial Genome // Science. 2016. Vol. 351. P. aad6253-1–aad6253-11.
- Koonin E. V. Comparative Genomics, Minimal Gene-sets and the Last Universal Common Ancestor // Nature Reviews Microbiology. 2003. Vol. 1. P. 127–136.
- Koonin E. V. The Cosmological Model of Eternal Inflation and the Transition From Chance to Biological Evolution in the History of Life // Biology Direct. 2007. Vol. 2. Art. 15.
- Le Vay K., Mutschler H. The Difficult Case of an RNA-only Origin of Life // Emerging Topics in Life Sciences. 2019. Vol. 3. P. 469–475.

- Lineweaver C., Davis T. M.* Misconceptions about the Big Bang // *Scientific American*. 2005. Vol. 292. P. 36–45.
- Lodish H. F.* Molecular Cell Biology. New York: W. H. Freeman and Company, 2000.
- Mazzarello P.* A Unifying Concept: the History of Cell Theory // *Nature Cell Biology*. 1999. Vol. 1. P. E13 – E15.
- Monnard P. A., Walde P.* Current Ideas about Prebiological Compartmentalization // *Life*. 2015. Vol. 5. P. 1239–1263.
- Nikolay R., et al.* Ribosomal Proteins: Role in Ribosomal Functions // eLS. 2015. P. 1–12.
- Noller H. F., Donohue J. P., Gutell R. R.* The Universally Conserved Nucleotides of the Small Subunit Ribosomal RNAs // *RNA*. 2022. Vol. 28. P. 623–644.
- Redi F.* Experiments on the Generation of Insects / translated from the Italian Edition of 1688 by M. Bigelow. Chicago: The Open Court Publishing Company, 1909. [Электронный ресурс]. URL: <https://archive.org/details/experimentsongen00redi/page/n5/mode/2up> (дата обращения: 20.08.2024).
- Rich A.* On the Problems of Evolution and Biochemical Information Transfer // *Horizons in Biochemistry* / ed. M. Kasha, B. Pullman. New York: Academic Press, 1962. P. 103–126.
- Smith K. A.* Louis Pasteur, the Father of Immunology? // *Frontiers in Immunology*. 2012. Vol. 3. Art. 68. P. 1–10.
- Totani T.* Emergence of Life in an Inflationary Universe // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Art. 1671.
- Virchow R. L. K.* Cellular Pathology as Based upon Physiological and Pathological Histology / translated by F. N. Chance. London: John Churchill, 1860.
- Wald G.* The Origin of Life // *Scientific American*. 1954. Vol. 191. P. 46.
- Wolf Y. I., Koonin E. V.* On the Origin of the Translation System and the Genetic Code in the RNA World by Means of Natural Selection, Exaptation, and Subfunctionalization // *Biology Direct*. 2007. Vol. 2. Art. 14.
- Wright N. A., Poulsom R.* *Omnis Cellula e Cellula* revisited: Cell Biology as the Foundation of Pathology // *Journal of Pathology*. 2012. Vol. 226. P. 145–147