

Институт научной информации по общественным наукам  
Российской академии наук  
(ИНИОН РАН)

# **МЕТОД**

**МОСКОВСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНИК ТРУДОВ  
ИЗ ОБЩЕСТВОВЕДЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

Выпуск 13  
(продолжение серии ежеквартальников МЕТОД)  
Том 3 № 4

**МОСКВА  
2023**

**Главный редактор – В.С. Авдонин**

**Редакционная коллегия**

*Авдонин В.С.* – д-р полит. наук, канд. филос. наук, вед. науч. сотр. ИНИОН РАН; *Аришинов В.И.* – д-р филос. наук, гл. науч. сотр. ИФ РАН; *Бажанов В.А.* – д-р филос. наук, зав. кафедрой философии Ульяновского государственного университета; *Гребенщикова Е.Г.* – д-р филос. наук, руководитель центра научно-информационных исследований по науке, образованию и технологиям ИНИОН РАН; *Демьянков В.З.* – д-р филол. наук, гл. науч. сотр. Института языкознания РАН; *Золян С.Т.* – д-р филол. наук, проф. Балтийского федерального университета им. И. Канта; *Ильин М.В.* – д-р полит. наук, канд. филол. наук, профессор, НИУ ВШЭ; *Киосе М.И.* – д-р филол. наук, вед. науч. сотр. Центра социокогнитивных исследований МГЛУ; *Крадин Н.Н.* – академик РАН, д-р полит. наук, директор ИИАЭ ДВО РАН; *Кузнецов А.В.* – член-корр. РАН, д-р экон. наук, директор ИНИОН РАН; *Малинова О.Ю.* – д-р полит. наук, профессор, гл. науч. сотр. ИНИОН РАН; *Окунев И.Ю.* – канд. полит. наук, директор Центра пространственного анализа международных отношений МГИМО МИД РФ; *Остапенко Г.И.* – магистр политологии, науч. сотр. Центра пространственного анализа международных отношений МГИМО МИД РФ (главный редактор сайта МЕТОД плюс); *Пивоваров Ю.С.* – академик РАН, д-р полит. наук, научный руководитель ИНИОН РАН; *Ретеюм А.Ю.* – д-р геогр. наук, профессор НИУ ВШЭ; *Розов Н.С.* – д-р филос. наук, профессор Института философии и права СО РАН; *Спиров А.В.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Лаборатории моделирования эволюции Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН; *Чебанов С.В.* – д-р филол. наук, проф. кафедры математической лингвистики СПбГУ; *Чалый В.А.* – д-р филос. наук., проф. МГУ

Ответственный за выпуск – **В.С. Авдонин, М.В. Ильин**

Ответственные за номер – **В.С. Авдонин, Д.А. Свирчевский**

Institute of Scientific Information for Social Sciences  
of the Russian Academy of Sciences  
(INION RAN)

# **METHOD**

**MOSCOW QUARTERLY JOURNAL  
OF SOCIAL STUDIES**

Part 13  
(continuation of the yearbook series METHOD)  
Volume 3 No 4

Moscow  
2023

### **Editor-in-Chief**

**Vladimir Avdonin**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

### **Editorial Board**

**Vladimir Avdonin**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Vladimir Arshinov**, Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Valentin Bazhanov**, Ulyanovsk State University (Ulyanovsk, Russia);

**Vadim Chaly**, Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad, Russia);

**Sergey Chebanov**, Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia);

**Valery Demyankov**, Institute of Linguistics, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Elena Grebenshikova**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Mikhail Ilyin**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Alexey Kuznetsov**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Maria Kiose**, Moscow State Linguistic University (Moscow, Russia);

**Nikolay Kradin**, Institute of History, Archaeology and Ethnology, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia);

**Olga Malinova**, Institute of Scientific Information for Social Science of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Igor Okunev**, Center for Spatial Analysis in International Relations, Institute for International Studies, MGIMO University (Moscow, Russia);

**German Ostapenko**, Center for Spatial Analysis in International Relations, Institute for International Studies, MGIMO University (Moscow, Russia);

**Yuri Pivovarov**, Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia);

**Alexey Reteyum**, Higher School of Economics (Moscow, Russia);

**Nikolai Rozov**, Institute for Philosophy and Law, Siberian Branch of Russian Academy of Science (Novosibirsk, Russia)

**Alexander Spirov**, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences (Saint Petersburg, Russia);

**Suren Zolyan**, Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad, Russia).

### *Responsible Editors of the Volume*

**V. Avdonin, M. Ilyin**

### *Responsible Editors of the Issue*

**V. Avdonin, D. Svirchevskii**

DOI: 10.31249/metod/2023.04

ISSN 2949-6209

© INION RAN, 2023

---

**ТЕМА НОМЕРА:**  
**Прагматика в расширенном эволюционном синтезе**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕННОГО  
ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА**

От редакции. Предисловие к рубрике .....	7
Шаров А.А. Возникновение и эволюция жизни во Вселенной .....	9
Выступления Алексея Шарова на семинарах в ИНИОН РАН.....	26
Обсуждения выступлений А.А. Шарова в ИНИОН РАН .....	51
Корнев Т.А., Чебанов С.В. Рец. на кн.: Алексея Шарова и Мортена Тёнессена «Семиотическая агентивность. Наука за пределами механизма» <i>Semiotic Agency: Science beyond Mechanism</i> / Sharov A., Tønnessen M. (Eds.). – Springer International Publishing, 2021. ....	79
Спиров А.В. Языки регуляции генов на примере сигнальных элементов промоторов .....	98

**УКЛАДКА (ФОЛДИНГ) БЕЛКА**

Ильин М.В., Авдонин В.С. О рубрике «Укладка (фолдинг) белка» .....	130
Любимова А.Д. Закрепление символа в процессе фолдинга: первичный биосемиозис (Реферат).....	133
Беннет Л. Биосемиотический подход к ИИ. Фолдинг как семиотическое моделирование. Перевод с английского А. Любимовой.....	147
Ильин М.В. Модели свертывания и развертывания во всеобщей эволюции мироздания.....	174

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АРХИВ НА ЗАВТРА**

Часовских Г.А. Эссе Чарльза Пирса «Эволюционная любовь» в контексте его взглядов на эволюцию человека .....	210
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

---

**ISSUE TOPIC:**  
**Pragmatics in the extended evolutionary synthesis**

**CONTENTS**

**PROSPECTS OF EXTENDED  
EVOLUTIONARY SYNTHESIS (EES)**

From the editors. Preface to the section .....	7
<i>Sharov A.A.</i> The origin and evolution of life in the Universe .....	9
Alexei Sharov's speeches at seminars at INION RAN .....	26
Discussion of Alexei Sharov's speeches .....	51
<i>Kornev T., Chebanov S.</i> Review of the book «Semiotic Agency. Science beyond Mechanism» by Alexey Sharov and Morten Tønnessen.....	79
<i>Spirov A.V.</i> Languages of gene regulation on the example of signal elements of promoters .....	98

**PROTEIN FOLDING**

<i>Ilyin M.V., Avdoin V.S.</i> About the section «PROTEIN FOLDING».....	130
<i>Lyubimova A.D.</i> Symbol Grounding by Folding: Primary Biosemiosis (Abstract) .....	133
<i>Bennett L.</i> A Biosemiotic Approach to AI. Folding as semiotic modeling. Translated by A. Lyubimova.....	147
<i>Ilyin M.V.</i> Models of folding and unfolding in the general evolution of the Universe .....	174

**INTELLECTUAL ARCHIVE FOR TOMORROW**

<i>Chasovskikh G.A.</i> Charles Peirce's essay «Evolutionary Love» in the context of his views on human evolution.....	210
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

---

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕННОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА

DOI: 10.31249/metod/2023.04.01

### От редакции. Предисловие к рубрике

*Для цитирования:* От редакции. Предисловие к рубрике // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 7–8. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.01

Открыть этот последний посвященный «пирсовскому моменту» номер Метода рубрикой «Перспективы расширенного эволюционного синтеза» нас побудило важное событие. Состоялся долгожданный визит в Москву нашего знаменитого коллеги, выдающегося ученого, многолетнего редактора международного журнала Биосемиотика и давнего друга Метода – профессора Алексея Александровича Шарова.

Алексей Шаров – наш соотечественник, который уже более 30 лет работает в Соединенных Штатах Америки. Он известный биолог, по узкой специальности – энтомолог, но на самом деле его интересы еще со студенческой скамьи касались теоретической биологии. Уже в свои самые ранние годы он очень активно включился в только возникавшую тогда биосемиотику. В Московском университете эти веяния уже ощущались, а главное, что они ощущались вообще в Советском союзе и, в частности, в Московско-тартуской школе, в инициативах которой Алексей активно участвовал.

С тех пор много воды утекло. За это время Алексей Шаров успел сделать очень много на совершенно разных научных площадках, но то, что, на наш взгляд, производит наибольшее впечатление, это, конечно, его биосемиотические достижения, которые могут включаться в состав расширенного эволюционного синтеза. А конкретно в рамках биосемиотики – это то, что он сделал для исследования того, что он называет агентность, т.е. транслитерация английского термина *agency*. Этим термином обозначается очень сложное и такое непростое для понимания понятие, которое можно перевести русский язык как *действенность*. Сильно описательный перевод этого термина – это действующие силы, как что-то такое, что может быть, с одной стороны, персонализировано, а, может быть, и не персонализировано, а представлено в виде процессов.

В этой рубрике мы помещаем несколько материалов, связанных с Алексеем Шаровым. Во-первых, это его статья в авторском переводе с

английского для Метода – «Возникновение и эволюция жизни во Вселенной»; во-вторых, это его выступления на семинарах в Москве, в ИНИОН РАН, организованных при участии Метода, и проекта РНФ № 22-18-00383, а также фрагменты их обсуждения; в-третьих, это подготовленная Тимофеем Корневым и Сергеем Чебановым обстоятельная рецензия на книгу Алексея Шарова и Мортон Тённессена «Семиотическая агентность», выпущенная издательством Шпрингер в 2021 г. (A. Sharov & M. Tønnessen (Eds.), *Semiotic Agency*, Springer International Publishing, 2021). Надеемся, что знакомство с этими материалами будет для читателей Метода полезным и интересным.

Помимо них в рубрику также включена статья нашего коллеги и постоянного автора Метода – Александра Спинова связанная с проблематикой расширенного эволюционного синтеза.

### **From the editors. Preface to the section**

*For citation:* From the editors. Preface to the section // METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Part. 13. Vol. 3. No. 4. – P. 7–8. DOI: 10.31249/metod/2023.04.01



**Шаров А.А.<sup>1</sup>**

## **Возникновение и эволюция жизни во Вселенной**

*Аннотация.* В статье рассматриваются альтернативные гипотезы происхождения жизни, опровергающие традиционные представления о ее зарождении на Земле. Автор предлагает новый взгляд на происхождение жизни, предполагая ее зарождение задолго до формирования Земли, около 10 млрд лет назад. Центральное место в исследовании занимает концепция семиотической агентности, согласно которой жизнь – это не просто физическая система, но сложная биологическая реальность, включающая смысловые процессы. Автор анализирует теорию липидного мира, роль коэнзимов и показывает, как эти модели могут объяснить начальные этапы эволюции. Статья подчеркивает важность междисциплинарного подхода, объединяющего биологию, семиотику и философию для более глубокого понимания природы жизни и ее эволюции во Вселенной.

*Ключевые слова:* возникновение жизни; эволюция жизни вне Земли; семиотическая агентность; липидный мир; полициклические ароматические углеводороды (ПАУ); коэнзимы.

*Для цитирования:* Шаров А.А. Возникновение и эволюция жизни во Вселенной // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 9–25. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.02

## **Что мы называем «живым»?**

Животные, растения и грибы – хорошо известные нам живые организмы. Но вот в XVII в. Антон Левенгук изобрел микроскоп и вдруг обнаружил одноклеточных организмов в капле воды, которых во много раз больше на земле чем животных и растений. Пришлось их включить в категорию живых систем. Затем в XIX в. вдруг оказалось, благодаря исследованиям Луи Пастера и других микробиологов, что существует еще более многочисленная группа живых организмов, представленная бактериями. Позднее, уже в XX в., обнаружили, что бактерии неоднородны и включают археи. А как насчет вирусов, которых еще больше, чем бактерий? Большинство биологов считают, что вирусы – это неживые системы.

---

<sup>1</sup> **Шаров Алексей Александрович**, доктор биологических наук, консультант компании Elixigen в Балтиморе (США), редактор международного журнала и книжной серии «Биосемиотика» издательства Springer, sharov@comcast.net

А как насчет внутренних компонентов клетки – живые они или нет? Многие биологи считают, что компоненты клетки неживые, и только целая клетка является живой. Это мнение спорно, поскольку некоторые компоненты клетки, такие как митохондрии и пластыды, несущие хлорофилл, в прошлом были независимыми организмами – бактериями. А кто может гарантировать, что эволюционные предшественники рибосом не были независимыми (автономными) прото-организмами? Традиционное понятие живого не дает ответа на эти вопросы. К концу моего доклада я расскажу о новом понятии *агентности*, которое более приспособлено к рассуждениям о сущности и происхождении жизни.

### Свойства живого

1. Жизнь замкнута в отношении продукции: живое есть продукт живого;
2. Смерть – это необратимый (и, как правило, быстрый) переход живого в состояние неживого;
3. Живое состояние поддерживается и умножается биологическими функциями (метаболизм, питание, поиск и обработка пищи, преобразование среды обитания и размножение).

В термодинамическом аспекте жизнь – это метастабильное состояние, поддерживаемое за счет внешнего источника энергии. Одна из формальных моделей живого – это *самоподдерживающееся подмножество состояний с низкой энтропией*. Это подмножество жизнеспособных состояний существенно меньше, чем полное множество логически возможных состояний.

Однако эта модель *недостаточна* для описания жизни. Торнадо, ураганы, пламя тоже являются самоподдерживающимися системами, но они неживые, так как *не способны к эволюции и обучению*. Такова же модель *аутопоэзиса*, предложенная чилийскими биологами У. Матурано и Ф. Варела [Maturana, Varela, 1980]. Однако эти авторы потом расширили свое представление о живом как замкнутой системе, и Варела развил направление *энактивизма*, где жизнь понимается шире – как активный поиск новых решений в процессе интерактивного познания мира.

Таким образом, прогресс живого не обязательно связан с уменьшением энтропии. Если бы прогресс живого был эквивалентен уменьшению энтропии, то идеальной жизнью был бы кристалл, а не организм. Понятие энтропии или негэнтропии в биологии – это обман; это умышленная подмена биологического понятия целеполагания и целесообразности физическим понятием распределения вероятностей. Теория вероятностей уравнивает все возможные состояния системы, в то время как организмы отличают хорошие состояния от плохих и используют хорошие случайности в своих интересах. Иначе говоря, биологические «случайности» имеют смысловую нагрузку и потому инициируют знаковые процессы, которые не имеют физического определения.

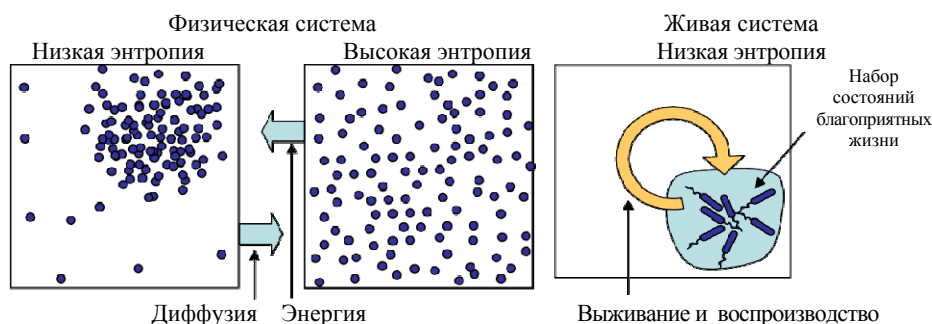


Рис. 1.

На рисунке 1 показана область состояний, благоприятных для определенного типа организмов. Но физика не объясняет, почему эта область благоприятна, а другое подмножество состояний неблагоприятно. Физика также не объясняет, почему другой вид организмов способен жить и размножаться в области состояний, который был губителен для ранее известных организмов.

Так что проблема не в энтропии или негэнтропии, а в способности организмов находить нетривиальные решения как выжить и размножиться в тех состояниях, которые доступны в силу условий среды и метаболических и когнитивных способностей организмов. В биологии эта способность называется приспособленностью. Прав был Лев Берг, который рассматривал приспособленность основным свойством и критерием жизни.

Конечно, физическая модель может быть «улучшена», если в нее добавить степень полезности как внешний параметр и позволить организмам оптимизировать их активность так чтобы полезность была наибольшей. Такая модель была испытана на простой модели типа клеточного автомата [Kolchinsky, Wolpert, 2018]. Но эта модель не применима к реальным живым системам, в которых полезность непрерывно меняется в процессе эволюции и обучения. Более того, усовершенствуется сам процесс эволюции и обучения, включающий появление новых органов, новых сигнальных каналов и новой логики принятия решений.

Многие физики убеждены, что единственная реальность – это та, которая сведена к физическим процессам. И для них не важно, что физическая модель игнорирует биологический смысл и таким образом выбрасывает суть явления, как ребенка вместе с водой. Альтернативный подход, которым я пользуюсь, позволяет забыть про то, что физика – это единственная истинная наука. Я рассматриваю физические так называемые «законы» как модели реальности, сконструированные человеком на основе освоенного опыта.

Это позиция конструктивизма, которая иногда страдает излишней степенью релятивизма. Чтобы не попасть в ловушку релятивизма, надо

использовать теорию прагматизма Вильяма Джеймса, согласно которой живые организмы, и человек в частности, способны воспринимать степень полезности ситуаций и состояний и действовать в соответствии с этими восприятиями. Эта стратегия не избавляет от ошибок, но она имеет тенденцию к усовершенствованию и выживанию. В отличие от математической логики, теория Джеймса стремится не к истинности, полноте, и непротиворечивости (иллюзорные цели, которые как известно не достижимы по теореме Гёделя), а к полезности и компромиссу, где необходимо. Логика – это продукт человеческого мышления, это инструмент, который работает в одних случаях и не работает в других случаях. Логика не одна, а их много, и каждая логика имеет свою область приложения.

Итак, жизнь – это не физическая реальность, а биологическая. Для ее описания требуется понятия целеполагания и внутренней осмысленности в изучаемой системе. Этот подход применяется в трансдисциплинарных исследованиях, известных как биосемиотика [Theses on biosemiotics ..., 2009].

Не всякая вещь осмыслена. Бессмысленная сложность – это то, что мы называем шумом. В теории информации есть априорное разделение на сигнал и шум. Сигнал по определению осмыслен, а шум – нет, но теория информации не поясняет почему. В биологии деление на шум и сигнал не задано изначально, но оно формируется в процессе эволюции и обучения. И результат неоднозначен, что свидетельствует о свободе выбора. Так что для определения жизни и понимания ее форм необходимо знать, какие элементы живого являются носителями смысла, иначе говоря – являются знаками. Знак – это не просто соответствие между объектами или формами, а такое соответствие, которое является носителем смысла для организмов, т.е. является значимым.

Теория смысла – это большая область семиотического знания, и я не буду ее вам здесь излагать. Укажу только, что семиотика исходно развивалась в применении к медицине, где симптомы являются знаками заболеваний, и к логике, где необходимо отличать истинные высказывания от ложных. Общую теорию семиотики человека впервые сформулировал Джон Локк в XVII в. Один смысл нельзя изолировать от других смыслов, поскольку *смыслы существуют только совместно* в единой органической системе. Примером является человеческий язык, где каждое понятие имеет глубокую историю и переплетается с другими понятиями. Другие живые организмы не имеют прямого аналога языка, но у них есть сложные смысловые системы, работающие на другой основе и формирующие регуляцию генов, клеточный метаболизм, эмбриональное развитие, стресс, гормональный статус, эмоции и память.

Биосемиотика показала, что *смыслы и знаковые процессы не ограничены человеческим сознанием, а являются основой всех живых организмов и автономных частей организмов*, таких как живая клетка и ее автономные компоненты. Основателем биосемиотики можно считать Якоба фон Икскюля, построившего теорию смысла в живых организмах в начале XX в.

[Von Uexküll, 1957; 1982]. Но термин *биосемиотика* был предложен позже Ротшильдом в 1962 г. и независимо переоткрыт Себеоком и мною.

В основе жизни лежит творческое развитие уже существующих смыслов. Смысл жизни в том и состоит, чтобы добавить новую веточку в эволюционном дереве смыслов. Такое биосемиотическое понимание жизни существенно богаче религиозного мышления, предполагающего источник смыслов во внешнем вневременном и внепространственном божестве.

### **Количественная характеристика жизни – знаковая сложность**

Теперь перейдем к анализу происхождения жизни. Очевидно, что в фокусе будут простые формы жизни, такие как бактерии и вирусы. У этих живых агентов есть орган, специализированный на хранении осмысленных знаков, и это в первую очередь геном, т.е. последовательность нуклеотидов в молекулах ДНК или других нуклеиновых кислотах. Хотя живые организмы имеют много других типов осмысленных знаков (известные как эпигенетические или не-генетические), давайте для простоты ограничимся рассмотрением генома.

Когда организмы приобретают новую функцию, они должны передать эту функцию потомкам, так как иначе она исчезнет. Люди могут передать информацию, написав книгу или прочитав доклад. Но бактерии могут передать информацию о своих функциях только через наследуемые молекулярные знаки, такие как элементы генетического кода. Новая функция у организмов вначале появляется спорадически, без устойчивого наследования, но если функция полезна, то она постепенно, в течении многих поколений, кодируется в геноме и за счет этого становится более устойчивой и надежной. Таким образом, количество полезных функций в организме должно зависеть от *количества закодированных элементов генома*. Так что степень «живости» организма можно оценить знаковой сложностью его генома.

Исходные попытки оценить знаковую сложность генома были неудачными. В то время люди даже не мечтали о том, чтобы определить последовательность нуклеотидов в геноме клетки. Поэтому они сравнивали общее количество ДНК в одной клетке у разных организмов (C-value). Оказалось, что количество ДНК в клетке человека в тысячи раз меньше, чем у многих простых одноклеточных организмов. Это явление обсуждалось как парадокс C-value.

Этот парадокс удалось обойти после того, как геном был секвенирован. Оказалось, что многие виды организмов имеют несколько копий хромосом, что увеличивает количество ДНК, но не изменяет знаковую сложность. В дополнение к этому оказалось, что существенная часть ДНК используется для других целей (для деления клетки или как опорная структура). У многоклеточных организмов часть генома заполнена мусорными элементами и

остатками старых нефункционирующих генов. Поэтому Адами [Adami, Ofria, Collier, 2000] предложил рассчитывать знаковую сложность генома по функционирующим фрагментам ДНК, игнорируя повторы.

Я немного модифицировал этот метод (изменил критерии функциональности) и сравнил знаковую сложность крупных филогенетических групп организмов. Оказалось, что знаковая сложность организмов удваивается примерно за 340 млн лет эволюции, а логарифм сложности линейно зависит от времени происхождения таксонов:

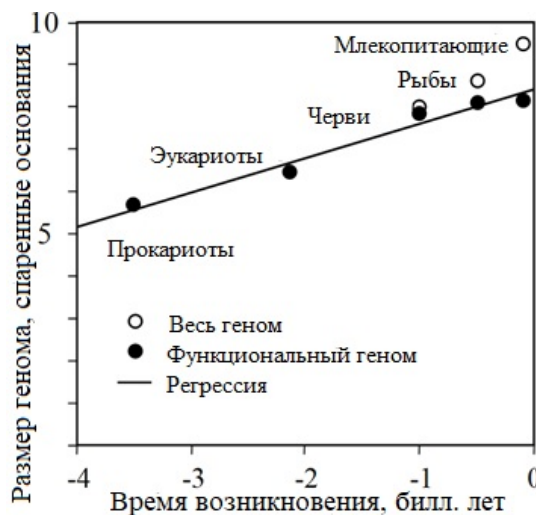


Рис. 2.

### Жизнь возникла задолго до формирования Земли

Как известно, Земля сформировалась примерно 4,5 млрд лет назад. Поэтому возникает вопрос, а как же тогда жизнь могла возникнуть так быстро на Земле всего за несколько сотен миллионов лет? Некоторые биологи пытаются придумать гипотетические условия, при которых эволюция жизни могла ускориться в сотни раз. В ход идет и высокая частота мутаций, и горизонтальный перенос генов между видами, и необыкновенные геохимические циклы, напоминающие ПЦР. Что только не придумают люди ради сохранения привычного догмата о том, что жизнь произошла на Земле.

Для сравнения вспомним, что гелиоцентрическая модель солнечной системы была предложена во II в. до нашей эры Аристархом из Самоса. И только в конце XVII в., после открытия закона гравитации Ньютоном, эта модель была принята большинством ученых. Движение материков на поверхности земли было предположено географом Авраамом Ортелиусом в 1596 г. Столетиями ученые накапливали факты, подтверждающие дрейф

материков, но только в 70-х годах XX в. эта гипотеза наконец была признана правильной.

Регрессия знаковой сложности генома по отношению ко времени происхождения филогенетических ветвей может быть использована для предсказания возраста жизни. Для этого надо продолжить регрессию назад во времени до момента, где знаковая сложность в логарифмическом масштабе будет равна нулю, что соответствует одному нуклеотиду. В результате получается, что экстраполированный возраст жизни около 10 млрд лет плюс-минус 2 миллиарда.

Этот результат противоречит общепринятым представлениям о происхождении жизни и требует ответа на такие вопросы как (а) откуда живые организмы могли заселить Землю сразу же после ее формирования? (б) как живые организмы могут выжить в условиях межзвездного путешествия? и (в) как жизнь могла зародиться, начиная с одного нуклеотида?



Рис. 3.

Отсутствие сигналов от других цивилизаций из космоса, вероятно, означает, что человеческая цивилизация уникальна в той части галактики, где находится Солнечная система. Но это вовсе не означает, что бактериальная жизнь встречается очень редко в нашей галактике и во вселенной в целом. На Земле бактерии (включая археобактерии) встречаются практически везде, где есть вода с температурой от 4 до 60 С. Есть археобактерии, которые выживают в кипящей воде, но там они не размножаются. Бактерии найдены в подледниковых озерах Антарктиды, на дне океанских впадин и в земле на глубине до 5 км. На большой глубине под землей бактерии используют химическую энергию реакции доноров электронов (водород, метан, аммоний, сульфиды) и акцепторов (нитраты, окиси железа и марганца, углекислый газ). Метаболизм этих бактерий очень медленный, и клетки могут жить тысячу лет (а может и больше), прежде чем разделить на две дочерние клетки. Такие условия жизни, вероятно, есть на Марсе и на некоторых спутниках Юпитера и Сатурна. Можно полагать, что вода в нужном темпе-

ратурном интервале встречается и на многих экзопланетах, сравнимых по размеру с Землей, и многие из них заселены бактериями. Источником энергии для подогрева экзопланет является излучение звезды, раскаленное ядро планеты, ядерный распад в ядре планеты или спонтанная радиоактивность внутри астероидов. Последние три источника энергии могут присутствовать и в космических телах, которые покинули звездную систему вследствие столкновения планет или взрыва звезды.

Теперь о выживании бактерий во время межзвездных путешествий. Хотя все бактерии гибнут от жесткой космической радиации, они, вероятно, хорошо выживают в толще астероидов и планет. Возможно, бактерии могут выживать и в кометах. Критическим моментом заселения планеты бактериями, принесенными другим космическим телом, является столкновение, сопровождающееся сильным разогревом или взрывом. Если космическое тело достаточно велико, то оно может распасться на куски, и некоторые куски могут быть заторможены взрывной волной от столкновения других кусков с планетой. Возможно, столкновение с водной поверхностью менее губительно для бактерий, прибывающих на планету с астероидами или кометами.

Примерно 2 астероида размером около 1 км падает на поверхность Земли за 1 млн лет. В начале формирования Земли частота падения астероидов могла быть существенно выше. Если один из 10 астероидов заселен бактериями и вероятность доставки живых бактерий составляет 10%, то этого достаточно для заселения планеты бактериями в течении нескольких сотен миллионов лет.

### **Сценарий происхождения жизни**

Гипотеза происхождения жизни, официально принятая в научном сообществе, предполагает, что жизнь случайно самоорганизовалась в живые системы, очень похожие на ныне существующие. В частности, предполагается, что первые живые системы уже имели нуклеиновые кислоты (РНК), кодирующие и катализирующие примитивный метаболизм. Это так называемая гипотеза РНК-мира [Gilbert, 1986]. В ней также считается, что все остальные необходимые органические молекулы (аминокислоты, углеводороды, нуклеотиды, и липиды) в избытке находятся в окружающей среде – в примордиальном бульоне – и пополняются в результате естественных геохимических процессов.

Эта гипотеза далека от решения проблемы происхождения жизни, и также неправдоподобна как в физике – теории флогистона, или большого взрыва. Конечно, возможно, что на какой-то промежуточной стадии эволюции некоторые живые системы использовали исключительно РНК для кодирования и катализа. Но это не могла быть начальная точка происхождения жизни, поскольку РНК – это сложная молекула, идеально приспособленная для своих функций. Она должна была возникать многоэтапно в



ходе предшествующей биологической эволюции. А это означает, что жизнь возникла намного раньше РНК-мира [Bernhardt, 2012]. Гипотеза РНК-мира была шагом назад в направлении гено-центрической парадигмы, которая игнорирует семиотическую (смысловую) природу жизни.

Вымышленный примордиальный бульон никогда не существовал. Это плод воображения биологов, опасаящихся, что единственной альтернативой такому бульону будет божественный промысел. Хотя сложные органические молекулы, подобные тем, что функционируют в живых клетках и присутствуют в неживой природе, их естественная концентрация в метеоритах и на глубине океана на земле ничтожна – т.е. в миллиарды раз меньше физиологической концентрации, необходимой для катализа биологических реакций.

Тогда как же представить себе возникновение жизни из неживой природы, которое, вероятно, произошло в каких-то частях нашей галактики около 10 млрд лет назад? Вернемся к гипотезе, что жизнь возникла с аналогов одного нуклеотида, которые еще не были полимеризованы в подобие нуклеиновых кислот. Очевидно, что эти молекулы не могли функционировать как настоящие нуклеотиды в ДНК или РНК. Происхождение жизни – это не молекула, а та функция, которую она выполняет – это ее смысл и предназначение. Так какую же функцию могли выполнять ранние предшественники нуклеотидов? Оказывается, что химическая структура нуклеотидов напоминает коэнзимы – небольшие молекулы, которые участвуют почти во всех биологических реакциях: АТФ, коэнзим-А и другие.

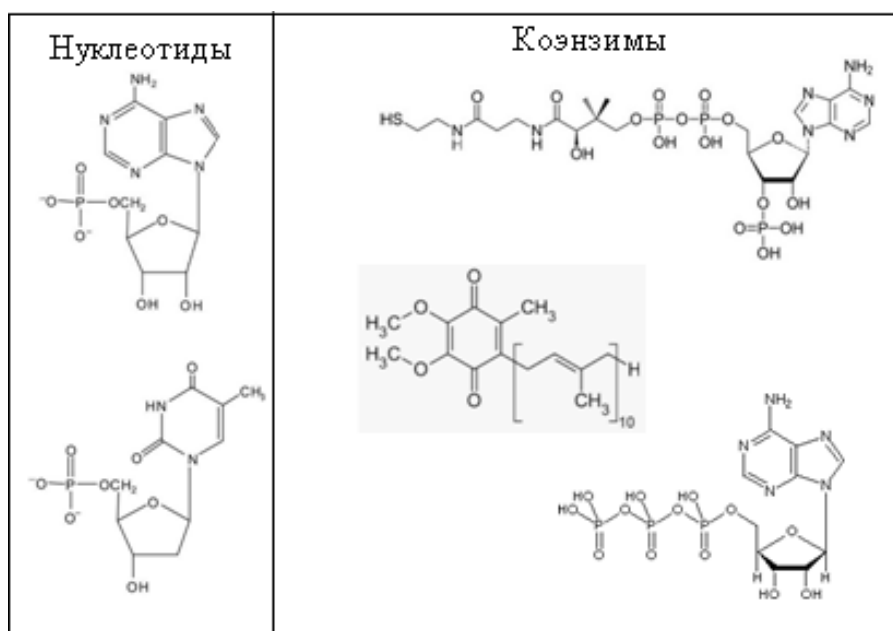


Рис. 4.

Теперь надо выяснить, откуда могли появиться коэнзим-подобные молекулы и в каких условиях могло начаться их накопление, самовоспроизведение и эволюция. Важным открытием была разработка моделей ‘липидного мира’, которые показали возможность компонентной наследственности, основанной на простых не-полимерных молекулах в контексте самоорганизации липидо-образных смесей в воде [The lipid world, 2001]. Первоначальные модели липидного мира были основаны на селективной адсорбции без каталитического изменения ковалентных связей:

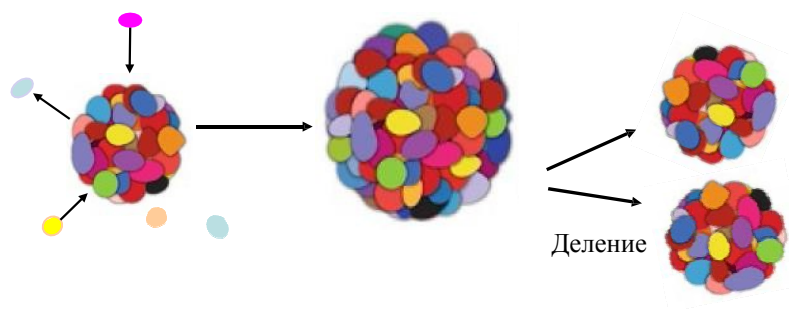


Рис. 5.

Однако оказалось, что эволюция в этих моделях сильно ограничена [Vasas, Szathmary, Santos, 2010]. Но вскоре появилась модифицированная модель липидного мира [Polymer GARD: computer simulation ..., 2005] с возможностью *катализа ковалентных связей*, и эта модель демонстрирует неограниченное появление новых квази-видов в результате естественного отбора.

Также расширились представления о возможных источниках органических веществ, которые могли бы использоваться протобиологическими системами. Оказалось, что полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – одни из самых обильно встречающихся газообразных органических соединений в космосе, особенно вблизи звезд, богатых углеродом [Ehrenfreund, Cami, 2010; Experimentally tracing ..., 2006].

Пути доставки ПАУ на планеты включают метеориты [The first cell membranes 2002] и космическую пыль; а благодаря гидрофобности, ПАУ могут накапливаться в липидных каплях в воде. Эти молекулы могут функционировать в протобиологических системах (например, липидного мира) для захвата и преобразования энергии фотонов [Deamer, 1992], а также для защиты от ультрафиолетового излучения [The first cell membranes, 2002, p. 374]. К тому же, они могут быть ресурсом для продукции коэнзим-подобных молекул.

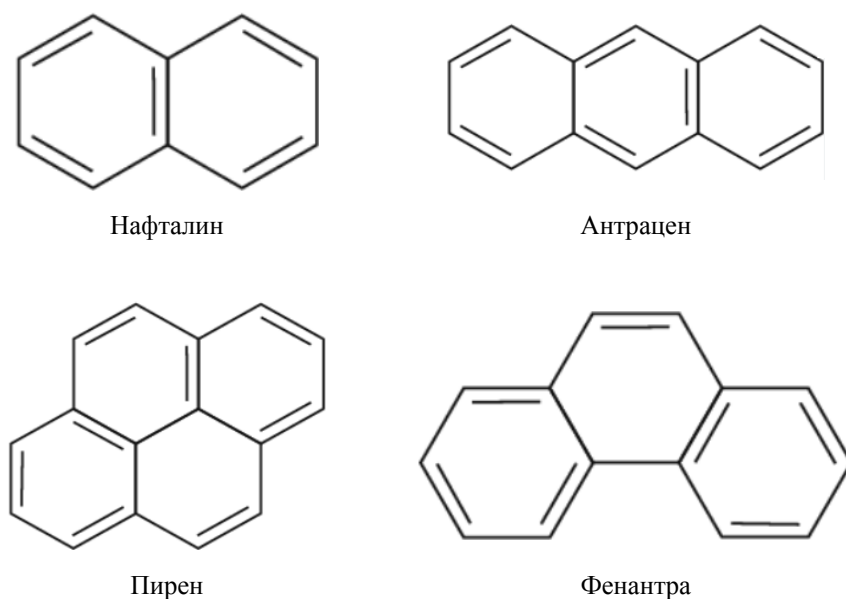


Рис. 6.

Существующие данные указывают, что из всех органических веществ только углеводороды (линейные, разветвленные и ароматические, включая ПАУ) были доступными ресурсами в период зарождения жизни [Sharov, 2016], тогда как все остальные органические ресурсы (например, аминокислоты и нуклеиновые основания) должны были быть синтезированы внутри прото-биологических систем.

Первичной формой наследственности было *сочетание неполимерных каталитических агентов*, таких как коэнзим-подобных молекул, со *специфической средой обитания* – липидными каплями, в которых они могли воспроизводиться [Sharov, 2016]. Такая форма наследственности вполне достаточна для появления упрощенных форм естественного отбора. Похожая идея была выдвинута Дайсоном [Dyson, 1999], утверждавшим, что молекулы АТФ, функционирующие как энергоносители, были предшественниками нуклеиновых кислот.

Описываемая модель происхождения жизни перекликается с гипотезой Патти о необходимости элементов ‘памяти’ (т.е., переключателей), регулируемых богатым контекстом [Pattee, 1969]. Предполагается, что самовоспроизводящиеся каталитические агенты модифицируют локальную среду обитания. Они, например, окисляют поверхностный слой молекул углеводородных микрокапель в воде и уменьшают силу поверхностного натяжения. Тем самым они создают контекст, благоприятный для процесса самовоспроизведения коэнзимных катализаторов за счет самих

разнообразных механизмов. Такими механизмами могут быть прикрепление коэнзим-подобных молекул к поверхности углеводородных микрокапель, использование редких органических молекул, прилипших из водной среды (например, ПАУ), расщепление жирных кислот у поверхности и увеличение вероятности деления капель как примитивный способ размножения.

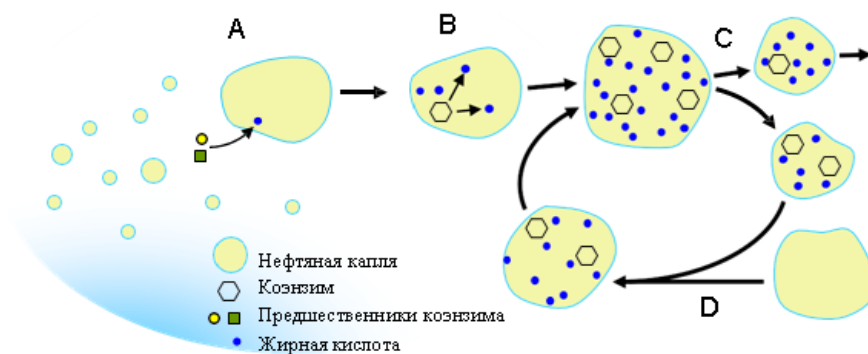


Рис. 7.

Таким образом создается богатый контекст в динамике клеткообразных структур, имеющий биологический смысл, так как он необходим для выживания и размножения каталитических агентов в их специфической локальной среде. Я называю это явление *агентно-средовым комплексом* – предшественником живой клетки. Этот комплекс является носителем осмысленных знаков, которые могут усложняться в ходе эволюции, движимой естественным отбором.

Приведу примеры направлений дальнейшей эволюции такого агентно-средового комплекса:

1. Возникновение и кооперация нескольких типов каталитических агентов;
2. Полимеризация каталитических агентов;
3. Репликация каталитических агентов;
4. Формирование клеточной мембраны из жировой капли.

В результате этих эволюционных изменений получается примитивная клетка с наследственностью, закодированной в полимерной молекуле – предшественнике нуклеиновых кислот.

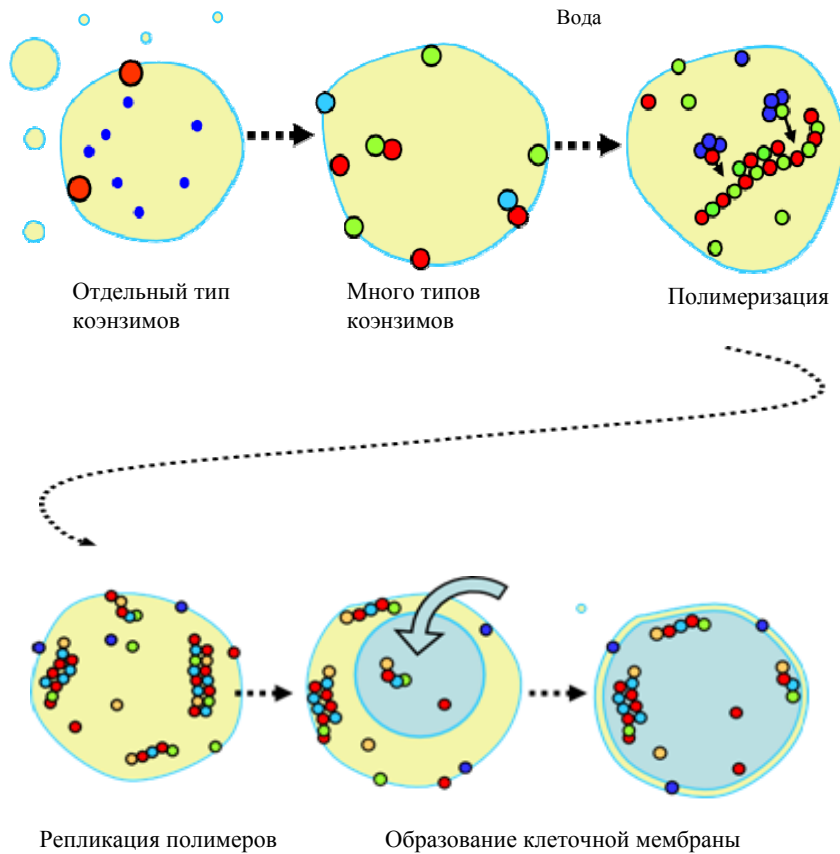


Рис. 8.

### Заключение

Мои исследования открывают новые перспективы в изучении жизни во Вселенной.

1. Если жизнь действительно зародилась задолго до образования Земли, то надо изучать пути космического переноса живых организмов. В частности, необходимо систематическое исследование жизни в Солнечной системе. Велика вероятность, что живые организмы на Марсе и других планетах и спутниках были занесены из того же космического источника, что и жизнь на Земле.

2. Поэтому можно смело применять генетическое секвенирование космических проб грунта. Современные секвенаторы на нанопорах имеют

размер монеты, и нет проблем доставить их на планеты и спутники Солнечной системы.

3. Происхождение жизни – это многоступенчатый эволюционный процесс, требующий миллиардов лет для завершения. Поэтому пора прекратить попытки получить живую клетку в пробирке. Экспериментальное изучение происхождения жизни должно быть направлено на имитацию отдельных малых ступеней в этом процессе без ожидания чудес.

4. В области нанохимии необходимо исследовать самоорганизацию агентно-средовых комплексов. Попутно эти исследования могут оказаться полезными в медицине и нанотехнологии.

5. Появление разумной цивилизации требует длительной эволюции (около 10 млрд лет), и Земля представляет собой редкий пример успешности этого процесса. Если жизнь в ближайшем районе нашей галактики распространялась из одного источника, то вполне возможно, что человеческая цивилизация – это первый случай успешного формирования цивилизации, и для появления других цивилизаций нужно ждать еще несколько сотен миллионов лет. В этой связи, модель Дрейка, предсказывающая количество цивилизаций, требует существенной модификации. Эта модель статична, а нужно добавить в нее эволюционную динамику.

6. В области философии необходимо дополнить механистическую модель мира агентным подходом. Суть понятия семиотической агентности в том, что в мире существуют сложные живые системы, которые автономны и целенаправленны, и в силу этого они способны инициировать новые причинно-следственные цепочки и тем самым модифицировать динамику мира [Sharov, Tønnessen, 2021]. Семиотический агент – это обобщение понятия организма. Помимо организмов, агентами являются части организмов (органы, ткани, клетки и автономные компоненты клеток), суперорганизмы (колонии, консорции, популяции, виды) и автономные устройства, продуцируемые организмами (компьютеры, автомобили, рибосомы).

Не отрицая перспективность изучения физическо-химической основы жизни, надо примириться с тем, что мы никогда не узнаем всех деталей того, как произошла и эволюционировала жизнь во Вселенной, поскольку этот процесс исторический и включает миллионы (если не миллиарды) качественно отличающихся ступеней и подпроцессов. И, несмотря на это, мы должны иметь смелость утверждать, что семиотическая агентность – это часть человеческой и космической реальности, и она требует изучения, несмотря на неполноту наших знаний о ней.

### Список литературы

Adami C., Ofria C., Collier T.C. Evolution of biological complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2000. – № 97. – P. 4463–4468.

- Bernhardt H.S. The RNA world hypothesis: The worst theory of the early evolution of life (except for all the others) // *Biology Direct*. – 2012. – Vol. 7, № 23. – P. 1–10.
- Deamer D.W. Polycyclic aromatic hydrocarbons: primitive pigment systems in the prebiotic environment // *Advances in Space Research*. – 1992. – Vol. 12, № 4. – P. 183–189.
- Dyson F.J. *Origins of life*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 112 p.
- Ehrenfreund P., Cami J. Cosmic carbon chemistry: from the interstellar medium to the early Earth // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. – 2010. – Vol. 2, № 12. – URL: <https://doi.org/10.1101/2Feshperspect.a002097>
- Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world / Ehrenfreund P., Rasmussen S., Cleaves J., Chen L. // *Astrobiology*. – 2006. – Vol. 6, № 3. – P. 490–520.
- Polymer GARD: computer simulation of covalent bond formation in reproducing molecular assemblies / Shenhav B., Bar-Even A., Kafri R., Lancet D. // *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. – 2005. – Vol. 35, № 2. – P. 111–133.
- Gilbert W. Origin of life: The RNA world // *Nature*. – 1986. – Vol. 319, № 6055. – P. 618.
- Kolchinsky A., Wolpert D.H. Semantic information, autonomous agency and non-equilibrium statistical physics // *The Royal Society Publishing*. – 2018. – Vol. 8, № 6. – URL: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0041>
- Maturana H., Varela F. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. – D. Reidel Publishing Co, 1980. – 146 p.
- Pattee H.H. How does a molecule become a message? // *Developmental Biology Supplement*. – 1969. – № 3. – P. 1–16.
- Sharov A.A. Coenzyme world model of the origin of life // *Biosystems*. – 2016. – № 144. – P. 8–17. – URL: <https://doi.org/10.1016/2Fj.biosystems.2016.03.003>
- Sharov A.A., Tønnessen M. Semiotic agency: Science beyond mechanism. – Springer, 2021. – URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89484-9>
- The first cell membranes / Deamer D., Dworkin J.P., Sandford S.A., Bernstein M.P., Allamandola L.J. // *Astrobiology*. – 2002. – Vol. 2, № 4. – P. 371–381.
- The lipid world / Segré D., Ben-Eli D., Deamer D.W., Lancet D. // *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. – 2001. – Vol. 31, № 1/–2. – P. 119–145.
- Theses on biosemiotics: Prolegomena to a theoretical biology / Kull K., Deacon T., Emmeche C., Hoffmeyer J., Stjernfelt F. // *Biological Theory*. – 2009. – Vol. 4, № 2. – P. 167–173.
- Vasas V., Szathmari E., Santos M. Lack of evolvability in self-sustaining autocatalytic networks constraints metabolism-first scenarios for the origin of life // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2010. – Vol. 107, № 4. – P. 1470–1475.
- Von Uexküll J. A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds // *Instinctive behavior: The development of a modern concept* / Karl S. Lashley (ed.). – New York: International University Press, 1957. – P. 5–80.
- Von Uexküll J. The theory of meaning // *Semiotica*. – 1982. – Vol. 42, № 1. – P. 25–82. – URL: <https://doi.org/10.1515/semi.1982.42.1.25>

Alexei Sharov<sup>1</sup>

### The origin and evolution of life in the Universe

*Abstract.* In the article *The Origin and Evolution of Life in the Universe* by A.A. Sharov, alternative hypotheses of the origin of life are explored, challenging the traditional view that life

---

<sup>1</sup> **Sharov Alexey Alexandrovich**, doctor of Biological Sciences, consultant of Elixigen in Baltimore (USA), editor of the international journal and book series «Biosemiotics» published by Springer; [sharov@comcast.net](mailto:sharov@comcast.net)

originated on Earth. The author proposes a new perspective, suggesting that life began long before the formation of Earth, approximately 10 billion years ago. The concept of semiotic agency is central to the research, positing that life is not merely a physical system but a complex biological reality involving meaningful processes. Sharov examines the lipid world theory, the role of coenzymes, and demonstrates how these models can explain the early stages of evolution. The article emphasizes the importance of an interdisciplinary approach, integrating biology, semiotics, and philosophy to achieve a deeper understanding of the nature of life and its evolution in the universe.

**Keywords:** origin of life; evolution of life; Universe; semiotic agency; polycyclic aromatic hydrocarbons; coenzymes; lipid world.

**For citation:** Sharov, A.A. (2023). The origin and evolution of life in the Universe *METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION*. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4, P. 9–25. DOI: 10.31249/metod/2023.04.02

## References

- Adami, C., Ofria, C., Collier, T.C. (2000). Evolution of biological complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 4463–4468.
- Bernhardt, H.S. (2012). The RNA world hypothesis: The worst theory of the early evolution of life (except for all the others). *Biology Direct*, 7 (23), 1–10.
- Deamer, D., Dworkin, J.P., Sandford, S.A., Bernstein, M.P., Allamandola, L.J. (2002). The first cell membranes. *Astrobiology*, 2, (4), 371–381.
- Deamer, D.W. (1992). Polycyclic aromatic hydrocarbons: primitive pigment systems in the prebiotic environment. *Advances in Space Research*, 12 (4), 183–189.
- Dyson, F.J. (1999). *Origins of life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ehrenfreund, P., Cami, J. (2010). Cosmic carbon chemistry: from the interstellar medium to the early Earth. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2, (12), a002097. <https://doi.org/10.1101%2Fcshperspect.a002097>
- Ehrenfreund, P., Rasmussen, S., Cleaves, J., Chen, L. (2006). Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world. *Astrobiology*, 6, (3), 490–520.
- Gilbert, W. (1986). Origin of life: The RNA world. *Nature*, 319, (6055), 618.
- Kolchinsky, A., Wolpert, D.H. (2018). Semantic information, autonomous agency and non-equilibrium statistical physics. *The Royal Society Publishing* 8, (6). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0041>
- Kull, K., Deacon, T., Emmeche, C., Hoffmeyer, J. and Stjernfelt, F. (2009). Theses on biosemiotics: Prolegomena to a theoretical biology. *Biological Theory*, 4, (2), 167–173.
- Maturana, H., Varela, F. (1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. D. Reidel Publishing Co.
- Pattee, H.H. (1969). How does a molecule become a message? *Developmental Biology Supplement*, 3, 1–16.
- Segré, D., Ben-Eli, D., Deamer, D.W., Lancet, D. (2001). The lipid world. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 31, (1–2), 119–145.
- Sharov, A.A. (2016). Coenzyme world model of the origin of life. *Biosystems*, 144, 8–17. <https://doi.org/10.1016%2Fj.biosystems.2016.03.003>
- Sharov, A.A., Tønnessen, M. (2021). *Semiotic agency: Science beyond mechanism*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89484-9>
- Shenhav, B., Bar-Even, A., Kafri, R., Lancet, D. (2005) Polymer GARD: computer simulation of covalent bond formation in reproducing molecular assemblies. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 35, (2), 111–133.



- Vasas, V., Szathmary, E. and Santos, M. (2010). Lack of evolvability in self-sustaining autocatalytic networks constraints metabolism-first scenarios for the origin of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, № 4, 1470–1475.
- Von Uexküll, J. (1957). A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds. In Karl S. Lashley (Ed.), *Instinctive behavior: The development of a modern concept* (5–80). International University Press.
- Von Uexküll, J. (1982). The theory of meaning. *Semiotica*, 42, (1), 25–82.  
<https://doi.org/10.1515/semi.1982.42.1.2>

## **Выступления Алексея Шарова<sup>1</sup> на семинарах в ИНИОН РАН<sup>2</sup>**

*Аннотация.* В подборке публикуются два выступления Алексея Шарова на семинарах в ИНИОН РАН, которые готовились в 2023 – начале 2024 гг. в рамках работы проекта РНФ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам. Сами выступления состоялись в ИНИОН РАН в ходе визита А. Шарова в Москву в начале 2024 г. Выступление «Происхождение и эволюция жизни во Вселенной» содержит расширенное изложение основных идей одноименной статьи Шарова, опубликованной в текущем номере МЕТОДа, а также ряд сюжетов, связанных с пребиотической эволюцией, знаковой сложностью и семиотическими агентами. Второе выступление «Агентность как фактор творческой эволюции» сосредоточено на роли агентности и семиотических агентов в современном подходе к эволюционной теории. Автор аргументирует идею, что в отличие от механистического и «геноцентрического» эволюционизма СТЭ расширенный эволюционный синтез, базирующийся на многоуровневой семиотической агентности, способствует развитию творческого понимания эволюции.

*Ключевые слова:* происхождение и эволюция жизни вне Земли; пребиотическая эволюция; семиотические агенты; СТЭ; расширенный эволюционный синтез; многоуровневая агентность; творческая эволюция.

*Для цитирования:* Шаров А.А. Выступления на семинарах в ИНИОН РАН // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 26–50. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.03

## **Происхождение и эволюция жизни во Вселенной**

Сегодня я расскажу о природе жизни, происхождении и эволюции жизни во Вселенной. Здесь есть краткое оглавление тех тем, которые я буду затрагивать: такие, как физическое и биологическое объяснение жизни.

---

<sup>1</sup> **Шаров Алексей Александрович**, доктор биологических наук, консультант компании Elixigen в Балтиморе (США), редактор международного журнала и книжной серии «Биосемиотика» издательства Springer, sharov@comcast.net

<sup>2</sup> Публикация подготовлена за счет гранта РНФ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН).

Потом, я покажу, что живое имеет знаковую природу в дополнении к физической природе, и рассмотрю количественную характеристику жизни, знаковую сложность, при этом анализ знаковой сложности показывает, что жизнь, скорее всего, возникла задолго до формирования земли. Потом расскажу о сценариях происхождения жизни и перспективах изучения жизни.

### **Физическое и биологическое описание жизни, биосемиотика**

Жизнь во Вселенной в термодинамическом аспекте – это метастабильное состояние, поддерживаемое за счет внешнего источника энергии. Такой взгляд на жизнь был впервые описан Эрвином Бауэром<sup>1</sup> в нашей стране. Он говорил, что интенсивность жизни будет тем сильнее, чем она дальше от термодинамического равновесия.

Так что жизнь имеет низкую энтропию, и сама поддерживает эту низкую энтропию. Имеются физические системы с низкой энтропией и высокой энтропией, диффузия приводит к высокой энтропии, а энергия может приводить к понижению энтропии. Вот такая физическая система, как идеальный газ. Она, конечно, не вполне соответствует структуре живого, потому что живое имеет более сложную организацию. (Вот так, как показано на рисунке<sup>2</sup>.) Живую систему можно описать как множество жизнеспособных состояний. И это подмножество самоподдерживается за счет процессов выживания и размножения.

Но физическое описание живых систем оказывается недостаточно, поскольку существуют другие метастабильные системы, которые далеки от равновесия, такие как смерть, ураган, пламя, но они не живые, поскольку они не способны к эволюции и обучению. И оказывается, что прогресс живого необязательно связан с уменьшением энтропии, т.е. уменьшение энтропии – это скорее признак жизни, как бы симптом жизни, а не его определение.

Важно, что эти биологические случайности имеют смысловую нагрузку, поскольку организм их ассоциирует с возможными последствиями или ожидаемыми последствиями, исходя из прошлого опыта.

Таким образом, специфика жизни состоит не в самой энтропии, а в способности организмов использовать накопленный опыт для того, чтобы решать какие-то нетривиальные проблемы в их жизни, чтобы регулировать жизненные функции и поддерживать жизнеспособное состояние. Таким образом, жизнь – это не просто физическая реальность, но и биоло-

---

<sup>1</sup> Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М. – Л.: Изд. ВИЭМ, 1935. – 206 с. Подробнее о Э. Бауэре см.: [https://bio.1sept.ru/view\\_article.php?ID=200103107](https://bio.1sept.ru/view_article.php?ID=200103107)

<sup>2</sup> В выступлении использовались слайды рисунков из статьи, выше представленной в Методе. В данном случае речь идет о рисунке 1.

гическая. И для ее описания требуются такие понятия, которые отсутствуют в физике.

Это – целеполагание внутренней осмысленности.

Большой шаг вперед по изучению природы жизни был сделан с помощью применения теории информации, кибернетики. Согласно этим наукам, организм имеет элементы памяти, которые кодируют и контролируют активность организма. То есть – это понятие памяти, это уже более сложная конструкция по сравнению с термодинамическим описанием, поскольку термодинамика – это чистая механика, а элементы памяти – это уже сложные кибернетические элементы, компоненты, в которых механика уже не так важна.

Вы также знаете, что переключатели могут быть построены на основе разных физических компонентов, и все равно они останутся переключателями. Это могут быть транзисторы. Это могут быть лампы. Это могут быть механические переключатели и так далее. Или это могут быть химические переключатели, как в организме. Важным компонентом описания живого с помощью теории информации является то, что организмы могут оценить степень полезности или риска внешних и внутренних состояний, и это открывает возможность для оптимизации элементов памяти и так, чтобы увеличить полезность тех процессов, которые идут в живых организмах.

В современной биологии, в теоретической биологии опубликовано немало статей, которые пользуются вот этим кибернетическим языком для описания живого. В частности, это недавние работы А. Колчинского и Д. Вольперта<sup>1</sup>, где термодинамическая модель объединена с информационной, и полезность выживания и скорость размножения организмов оценивается на основе некоторых элементов памяти.

Также в этой модели содержится простая модель поведения элементарных кибернетических агентов, которые поглощают некую абстрактную пищу и, если эти агенты имеют истинную информацию о положении объектов питания, то они достигают этих объектов гораздо быстрее, чем при случайном поиске.

Вот такая у них модель, и таким образом, получается, что взаимная информация элементов памяти и компонентов среды обеспечивает увеличение размножения и выживания таких абстрактных агентов.

Достоинства и недостатки информационных моделей.

Достоинства. (1) Это то, что они показывают необходимость памяти в биологических системах. Например, это могут быть сигнальные модификации Белков, наследуемые гены, устойчивые эпигенетические состояния нейронной сети в зависимости от уровня сложности.

---

<sup>1</sup> Подробнее о революционной работе Артемия Колчинского и Дэвида Вольперта «Семантическая информация, автономное агентство и неравновесная статистическая физика» см.: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsfs.2018.0041>

(2) Далее делается следующий шаг вперед по сравнению с физикой, что в биологических системах происходит регуляция, коммуникация и оптимизация активности.

(3) Это то, что используется возможность неполного описания компонентов и связей, потому что, в отличие от физики, где требуется механическая такая физика, которая требует полного объяснения, полного описания системы, как правило, замкнутой системы, в то время как кибернетические системы, они принципиально неполны, т.е. мы не знаем, какова природа переключателей. Мы не знаем, какова природа обратных связей. Важно, что эти связи существуют, и их можно описывать языком на более высоком уровне абстракции.

Недостатки же информационных моделей в том, что они провоцируют метафору вычислительного устройства, т.е., как будто, организм – это робот, управляемый компьютером. На самом деле, это не так, потому что биологические системы, во-первых, помимо вычислительной части выполняют массу других операций, таких, например, как построение конструкций материальных кибернетических элементов, которых не было раньше. Например, нейроны в мозге формируют синапсы, т.е. соединения, которых не было раньше, и эти синапсы, затем начинают выполнять какие-то функции. Конечно, не исключено, что в будущем кибернетические устройства будут более сложными, и они достигнут степени самопостроения и саморегуляции, и да, это может быть, похожим даже на размножение. Но до этого пока далеко, так что метафора робота, управляемого компьютером на настоящем этапе, явно несостоятельна.

Второй недостаток – это то, что часто кибернетические модели описываются в терминах биопсихизма, что сознание приписывается всем живым системам, на самом деле это не так. То есть сознание – это более высоко организованные уровни регуляции. Существуют живые системы с гораздо более простой регуляцией. Немного забегаю вперед, можно сказать, эти информационные модели работают, как правило, только в очень простых вариантах, таких, как клеточные автоматы и к организмам применимы в основном как метафоры. Об этом я расскажу позже.

Критерии полезности архитектуры в сети управления, как правило, задаются в моделях априорно. А в живых системах они возникают исторически в течение очень долгого процесса эволюции или обучения. Вот поэтому необходимо дополнить кибернетическое описание еще одним уровнем описания, который обычно называется семиотикой. Семиотика – это наука о знаках и смыслах.

Так вот, если элементы памяти – это знаки, носители смысла, то и нужно описывать организмы в терминах семиотики, и более точно, в терминах биосемиотики. Это – такая зарождающаяся дисциплина, которая возникла в основном в конце XX в. продолжает развиваться.

Что же это такое – знак?

Это не просто соответствие между какими-то объектами и формами, а такое соответствие, которое является значимым, т.е. полезным в определенном контексте для организма и который организм может использовать для того, чтобы выполнять свои биологические функции. Если физическая система определяется текущим состоянием, то живую систему невозможно описать просто текущим состоянием, потому что это состояние слишком сложно, и поэтому живую систему рассматривают как *продукт исторического развития*. Например, как процесс эволюции или эмбрионального развития, а также физиологические процессы. Так что необходимо динамическое описание организмов как процессов.

Биосемиотика зародилась из работ Якоба фон Иксюля и сформировалась немного позже, в конце XX в. и в начале нашего XXI в. Согласно биосемиотике, смыслы знакового процесса не ограничены человеческим сознанием, а являются основой жизни всех живых организмов, а также автономных частей организма. И это соответствует такому интуитивному представлению о том, что в основе жизни лежит творческое начало и необходимо развитие уже существующих смыслов. То есть смысл жизни состоит в том, чтобы добавить новую веточку в дерево эволюционирующих смыслов, как в биологическом аспекте, так и в аспекте сознания.

Я также скажу, что семиотика она не противоречит физике, но и не редуцируется к физике. В чем тут дело?

В случае *исчерпывающего описания системы* семиотика не дает большого преимущества. Если у нас есть механическая модель, как часы механической системы, то ее не имеет особого смысла описывать терминами семиотики.

Организм с точными координатами и моментами для каждого атома потребует убит, а при неполном описании системы физика не гарантирует однозначности предсказания. Любая жизнь и живая система даже при зарождении жизни не имеет исчерпывающего описания, чтобы описать живое. Исследователь не может ни подтвердить, ни опровергнуть логику знаковой причинности, а знаковая причинность отличается от физической причинности таким образом, что физическая причинность – это непосредственное действие какой-то силы на объект, в то время как знаковая причинность она медиирована, т.е. опосредована сознанием или какой-то другой семиотической системой, которая принимает решение, т.е. существует еще масса переходов, где происходит процесс принятия решений.

### Знаковая сложность

В связи с развитием биосемиотики возникла такая проблема. Можно ли описать знаковую сложность живых организмов количественно? В общем эта проблема очень похожа на то, что сделал К. Шеннон в теории информации. Шеннон просто считал биты информации. А можно сделать

немного более сложно, т.е. можно считать знаки. То есть нужно различать, какие биты информации значимые, а какие незначимые. И вот когда организм приобретает новую функцию, они должны передать эту функцию потомкам, так как иначе функция исчезнет.

Люди передают информацию через язык, но бактерии могут передать информацию о своих функциях только через наследуемые молекулярные знаки, такие как элементы генетического кода. То есть генетический код – это довольно древняя, одна из самых древних, знаковых систем, которые возникли в живых организмах.

Поэтому интересно посчитать количество полезных функций в организме, которые могут быть закодированы элементами генома. И вот это можно назвать генетической сложностью и, таким образом, как бы оценить степень живости организма по тому, сколько функций в организме закодировано.

Оценка знаковой сложности генома имеет длительную историю, и началась она с неудачи. Когда еще геном не был расшифрован, биологи пытались оценить знаковую сложность генома просто по длине ДНК, или даже по количеству ДНК в ядре клеток. Вот эту величину они называли Севилью, и оказалось, что оно достаточно хаотично и никак не связано со степенью организации живых систем. То есть у человека количество ДНК в клетке в ядре может быть даже меньше, чем во многих растительных клетках и меньше, чем у простейших, так что ученым не удалось использовать вот это Севилью для того, чтобы как-то оценить знаковую сложность генома.

Тем не менее можно модифицировать этот метод. Я изменил критерии функциональности и сравнил знаковую сложность крупных филогенетических групп организмов. Каким образом, я учитывал длину неповторяющихся и функциональных сегментов ДНК? Важно, что они не повторяются и что они значимые.

Если у нас есть псевдоген с такой же последовательностью как и основной ген, то его, соответственно, мы не учитываем. Повторности регуляторных сегментов генома можно учесть похожим образом. А как учитывать функциональность? Для этого обычно считают степень консервативности, последовательности ДНК в эволюции. Если последовательность сильно консервативна, т.е. она повторяется у далеких предков организма, то тогда мы считаем, что этот участок ДНК функционален. Большинство генов, особенно их кодирующие части (экзоны), обладают очень сильной консервативностью. Большинство генов, кодирующих последовательность, очень консервативно, т.е. они уходят корнями в далекое эволюционное прошлое, вплоть до членистоногих и даже более древних организмов.

А вот, скажем, регуляторные последовательности – они менее консервативные. Как правило, они возникали гораздо позже, и они быстрее эволюционируют. Можно рассчитать, какие из этих последовательностей могут потенциально иметь регуляторные функции. Для этого я использо-

вал способ, который уже был предложен раньше. Оказывается, что те участки генома, где обилие *транспозонов*<sup>1</sup>, как правило, нефункциональны. А вот те участки генома, которые расположены вне генов, но не содержат транспозонов, или содержат очень мало транспозонов, вот они уже имеют шанс быть функциональными.

И вот таким способом я посчитал длину неповторяющихся и потенциально значимых сегментов ДНК в разных таксонах – у млекопитающих, рыб, червей, одноклеточных эукариот, прокариот. Я не пытался рассмотреть много видов, а просто использовал то, что было известно. Я писал эту статью в 2006 г. и использовал что-то, что было известно к тому году. И оказалось, что, по оценке, примерное удвоение такой знаковой сложности генома происходит за 340 млн лет эволюции. И логарифм генетической сложности линейно зависит от времени происхождения таксонов. Любопытно, что это такая логарифмическая зависимость копирует известный закон Мура, относящегося к изменению сложности компьютерных схем. Г. Мур заметил, что логарифм плотности транзисторов компьютерных схем удваивается за какой-то период 18–24 месяца. И, в общем, он достаточно хорошо описывает изменение сложности компьютерных схем.

Нужно также учитывать, что полная знаковая сложность организма не исчерпывается геномом, т.е. геном характеризует только небольшую часть сложности организма, особенно, скажем, для многоклеточных животных. Значительная сложность, знаковая сложность записана не только в геноме, но в *эпигеноме*. То есть существует масса эпигенетических знаков, которые регулируют активность генов, которые регулируют сложные процессы в клетке, такие как, скажем, передвижение молекул между ядром и цитоплазмой, миграцию молекулярных ресурсов по микротрубочкам. Так что масса таких проблем, таких процессов имеет гораздо более сложную компоненту, которая уже не вполне генетическая.

Потом я продолжил регрессию назад во времени. И оказалось, что в логарифмическом масштабе знаковая сложность генома будет равна нулю (соответственно, 1 нуклеотиду) за время около девяти с половиной млрд лет назад, плюс – минус 2 млрд лет. Вот таким образом получается, что, скорее всего, жизнь возникла задолго до образования Земли.

Это, конечно, вызвало удивление очень многих людей. И, конечно, возникает масса вопросов по этому поводу. Такие вопросы возникают: откуда живые организмы могли заселить Землю сразу же после ее формирования, как живые организмы могут выжить в условиях межзвездного путешествия и как жизнь могла зародиться, начиная с одного нуклеотида. Для многих биологов эти вопросы могут вызывать недоумение.

---

<sup>1</sup> Транспозоны – (англ. *transposable element, transposon*) – участки ДНК организмов, способные к передвижению (транспозиции) и размножению в пределах генома. Транспозоны также известны под названием «прыгающие гены» и являются примерами мобильных генетических элементов.



Ну вот давайте сначала посмотрим, где может существовать бактериальная жизнь в космическом масштабе. Читая современную литературу по распространению экстремофильных бактерий, можно предположить, что бактериальная жизнь встречается достаточно часто на других планетах и астероидах; особенно, там, где есть жидкая вода. Об этом свидетельствует об этом свидетельствует присутствие бактерий в земле, на глубине до 5 км, в антарктических озерах, в глубоких впадинах океана.

Раньше считалось, что жесткая космическая радиация препятствует выживанию бактерий в космосе, тем не менее, если бактерии находятся в толще астероидов или планет, то они имеют большие шансы выжить. И там они могут использовать энергию хемосинтеза, температура может поддерживаться такими процессами, как медленный ядерный распад. Вот я также посмотрел, какова вероятность падения астероидов на поверхность земли. Можно описать эту частоту и оказывается, что, в принципе достаточно большая вероятность попадания. Достаточно большая вероятность того, что астероид, заселенный бактериями, может попасть на планету, такую, как Земля, и заселить ее сообществом бактерий и вирусов в течение сотен миллионов лет.

### **Сценарий происхождения жизни**

Теперь я перехожу к сценарию происхождения жизни. Самая популярная гипотеза происхождения жизни – это РНК-мир, в которой предполагается, что первые живые системы уже имели нуклеиновые кислоты. Таким образом утверждается, что без нуклеиновых кислот жизнь в принципе невозможна. И считается, что РНК-подобные нуклеиновые кислоты в этих примитивных системах обеспечивали как наследственные функции, так и каталитические функции. Вот эта гипотеза очень сильно зависит от другой – гипотезы первичного бульона, предполагающей, что необходимые органические молекулы, такие как аминокислоты, углеводы, нуклеотиды, липиды уже в избытке находятся в окружающей среде. И их концентрация достигает функциональных порогов.

К сожалению, гипотеза РНК-мира и первичного бульона не выдерживает критики. Во-первых, РНК – это довольно сложная молекула, и она ну, никак не могла возникнуть спонтанно. Она идеально приспособлена для своих функций и должна была возникать многоэтапно, в ходе предшествующей биологической эволюции. Это означает, что жизнь вместе с естественным отбором возникла намного раньше, чем появился РНК-мир, если он был.

Первичный бульон был предположен учеными, опасавшимися, что единственной альтернативой бульона является божественный промысел. Но естественная концентрация биомолекул в метеоритах или на глубине океана на Земле – ничтожна, она в миллиарды раз меньше той, которая

необходима для их функционирования, поэтому никто пока не предположил такую гипотезу, по которой эти концентрации могли достичь функциональных концентраций. Конечно, была масса гипотез о механизмах концентрирования, но ни одна из них не дает такой концентрации, которая **была бы близка к необходимой**.

Ну, а как же тогда могли произойти *нуклеотиды*<sup>1</sup>? Химическая структура нуклеотидов напоминает *коэнзимы*<sup>2</sup> – небольшие молекулы, которые участвуют почти во всех биологических реакциях. Одна из них является АТФ-коэнзимом, есть и другие. Очевидно, что одиночные нуклеотиды не могли кодировать последовательность аминокислот в белках, потому что только длинные цепочки нуклеотидов могли их кодировать. Ну, а если они не кодировали белок, то какова же была функция, каковы же они были? Какова же была функция таких нуклеотидов или предшественников коэнзимов?

Я развиваю гипотезу о том, что предшественниками нуклеотидов были коэнзимоподобные молекулы, способные к катализу химических реакций. И, в частности, этот катализ должен был обеспечить автокаталитическое возобновление этих коэнзимов.

Почти все коэнзимы включают один или несколько ароматических колец, поэтому имеет смысл искать источник готовых ароматических молекул, которые можно было бы заимствовать как ресурсы на начальных стадиях появления жизни. И вот тут интересным открытием последних лет было то, что *полициклические ароматические углеводороды или ПАО* – одни из самых обильно встречающихся газообразных соединений в космосе, и встречаются они в основном вблизи звезд, богатых углеродом.

До сих пор дискутируется, какие пути доставки вот таких ароматических углеводородов на планеты существуют. Скорее всего, эти пути включают метеориты, космическую пыль. И, вот что интересно, благодаря гидрофобности ПАО могут накапливаться в липидных каплях в воде, потому что они гидрофобны. И вот, благодаря такой аккумуляции, их концентрация может существенно возрасть, т.е., даже, если они исходно, весьма редкие, но в липидных каплях концентрации действительно могут достигнуть функциональных порогов. Гипотеза такая: эти молекулы могут функционировать в протобиологических системах для захвата и преобразования энергии фотонов, а также для защиты от ультрафиолетового излу-

---

<sup>1</sup> **Нуклеотиды** (нуклеозидфосфаты) – группа органических соединений, представляющих собой фосфорные эфиры нуклеозидов. Свободные нуклеотиды играют важную роль в энергетических и информационных внутриклеточных процессах, а также являются составляющими частями нуклеиновых кислот и многих коферментов (коэнзимов).

<sup>2</sup> **Коэнзимы** (или коферменты) (лат. *co-* приставка «объединение, сообща, вместе» + ферменты / энзимы) – органические природные соединения небелковой природы, необходимые для осуществления каталитического действия ферментов.

чения. И к тому же они могут быть ресурсом для производства коэнзим-подобных молекул.

В каких же условиях могло начаться самовоспроизведение вот таких коэнзимподобных молекул? Очевидно, что такое самовоспроизведение не встречается в неживом мире. Мы знаем, что коэнзимы воспроизводятся только внутри клеток, и, если бы не было первичного бульона, то органические ресурсы, доступные для вот таких протобиологических систем, были бы очень ограниченными. В космосе встречаются только углеводороды, в основном линейные, но также с примесью ароматических, возможно, ненасыщенных углеводородов.

Так вот, на мой взгляд, дополнительными факторами являются физические условия, которые могут стимулировать возникновение автокаталитических цепочек и одним из таких физических условий может быть граница сред. И, в частности, границы жидких сред. Вот одной из самых важных, видимо, была граница воды и жидких углеводородов, таких как, например, 8-ми углеродные и выше. Известно, что реакция синтеза существенно ускоряется на двухмерной границе среды, поэтому жидкая среда может способствовать увеличению скорости катализа и, поскольку оба компонента вот такой жидкой среды являются мобильными, то молекулы могут еще перемещаться по поверхности таких жирных капель.

Также граница жидкой и твердой фазы может быть важна. Например, если жидкой фазой являются углеводороды, а твердой фазой являются кристаллы катализаторы, то, по всей видимости, есть комбинация вот этих двух границ сред: жидких и жидких и твердых. Наличие твердых могло способствовать началу самовоспроизведения коэнзим подобных молекул.

Вот эту гипотезу я хочу привязать к еще одной гипотезе, которая уже достаточно хорошо разработана. Это гипотеза липидного мира как модели происхождения жизни. Эта модель была разработана в Израиле. Авторы предполагали, что самоорганизация липидных смесей в воде происходит за счет селективной адсорбции компонентов. То есть компоненты вот такой липидной капли могут контролировать присоединение других липидов, а также могут выделять, экскретировать ненужные продукты, ненужные компоненты. В результате капля может расти, и затем она может делиться за счет чисто случайных волн в воде, и таким образом, это похоже на прототип клеточного деления.

Первая публикация о модели липидного мира была раскритикована, поскольку оказалось, что эволюционные возможности липидных капель очень низки, и не образуется новых квазивидов в результате естественного отбора.

И выводом из этой статьи было то, что в липидный мир необходимо добавить еще катализ, а в исходной модели катализа не было.

А вот в статье 2005 г. Шенхав с соавторами описал модифицированную модель липидного мира, который включает катализ ковалентных связей. И вот уже в этой модели происходит неограниченное появление но-

вых квазивидов и, таким образом, естественный отбор начинает работать. Эта модель доказывает, что для примитивной наследственности совсем необязательно иметь последовательность. Не нужно иметь гетеромерный полимер типа нуклеиновых кислот, а возможна компонентная наследственность.

Вот такую же компонентную наследственность на самом деле рассматривали и раньше. Еще до модели липидного мира Сзасмэри был одним из авторов компонентной наследственности, такая компонентная наследственность предшествовала образованию нуклеиновых кислот.

Я использовал эти разработки для формулирования модифицированной концепции липидного мира, который называют *коэнзимным миром*. Эта модель основана на существовании коэнзим-подобных молекул, которые могут заселить поверхность липидных капель и начать окисление этих липидных капель, т.е. превращать углеводороды в жирные кислоты, потому что жирных кислот на самом деле в космосе очень мало. То есть их концентрация ничтожно мала, и они никак не могут организовывать липидные капли. А вот с помощью таких коэнзимов в условиях присутствия ароматических углеводородов, которые захватывают фотоны, эта энергия фотонов может использоваться для окисления поверхности липидных капель. И, значит, дальше идет их рост. Рост липидных капель происходит за счет захватов других липидных капель, и затем они опять могут размножаться, т.е. могут разбиваться на более мелкие капли. И, кстати, окисление поверхностного слоя липидной капли уменьшает поверхностное натяжение. И в результате липидные капли могут гораздо легче разделиться, так что этот процесс имеет еще одно дополнительное преимущество. Оно обеспечивает деление этих липидных капель.

Это образует первый этап возникновения систем, которые могут начать эволюционировать. Ну, а как же они на самом-то деле эволюционируют? Допустим, что такое такие энзимы первого типа заселили липидную каплю, а эволюции то пока нет. Значит, нужны гораздо более сложные системы. И вот эти слайды<sup>1</sup> предлагают гипотезу, как эта сложность может расти и в конце концов привести к возникновению реплицирующихся полимеров.

В начале был только один тип коэнзимов, т.е. это было то, что соответствует одному нуклеотиду. То есть это был, конечно, не АТФ, но что-то похожее, наверное, на АТФ. А затем происходила дивергенция этих энзимов, т.е. эти капли могли попадать в разные условия среды с разными компонентами ресурсов, и, естественно, накапливалось разнообразие, т.е. могли присоединяться дополнительные функциональные группы, такие как фосфорные или другие метилиции. И эти коэнзимы могли варьировать. Затем при слиянии липидных капель с разным набором коэнзимов могли возникать как бы композиционные капли, в которых присутствуют

---

<sup>1</sup> Рис. 7 и 8 из предшествующей статьи в Методе.

несколько типов коэнзимов. Дальше они могли начать полимеризоваться, т.е., если эти полимеры были полезны для выживания и размножения этих липидных капель, то могли начаться полимеризации. Например, для упрочнения поверхностного слоя вот этих капель. И в конечном итоге могла возникнуть репликация, которая очень напоминает уже репликацию РНК.

Последний этап связан с происхождением клеточной мембраны. Нужно из капли получить мембрану. Мембрана – это фактически жир. То есть нужно просто заглотить воду внутрь этой капли и затем упрочнить мембрану, а мембрану можно упрочнить за счет присоединения дополнительных каких-то молекул. Мы знаем, что в современных клетках это фосфолипиды, для этого нужен глицерин, а для того, чтобы продуцировать глицерин, нужно довольно-таки много. Нужно что-то, вроде *цикла Кельвина*<sup>1</sup>. Мы, конечно, не знаем, как это происходило в примитивных системах, но что-то, видимо, похожее на цикл Кельвина, в конце концов там получилось.

И затем, вот что могло быть еще, вот какие там интересные реакции могли происходить. Например, жирные кислоты. Они уже имеют кислотные компоненты, так что они могут, например, соединяться с аммиаком и таким образом захватывать азот. Азот может улучшать свойства, каталитические свойства этих коэнзимов, т.е. вот такие реакции тоже возможны.

Таким образом, в результате этих этапов получается примитивная клетка с наследственностью, закодированной в полимерной молекуле предшественника нуклеиновых кислот.

Закончу свой доклад перспективами изучения жизни во Вселенной. Что можно изучать, чтобы каким-то образом найти поддержку для всех этих гипотез. Ну, во-первых, можно изучить пути космического переноса живых организмов в солнечной системе. Если живые организмы были занесены на землю с помощью метеоритов или астероидов, или каких-то столкновений с другими планетами, то, скорее всего, Марс и другие его спутники тоже заселены теми же бактериями из того же космического источника, что и жизнь на Земле. Поэтому, скорее всего, если на Марсе и других компонентах солнечной системы есть жизнь, она будет очень похожа на бактериальную жизнь примитивных бактерий на Земле, особенно тех, которые живут в толще Земли.

Во-вторых, происхождение жизни – это многоступенчатый эволюционный процесс, требующий миллиардов лет, поэтому нельзя получить жизнь в пробирке. В эксперименте можно имитировать только отдельные стадии эволюции. Так что вместо того, чтобы пытаться сразу получить живую клетку, нужно пытаться воспроизвести каждую из этих ступеней

---

<sup>1</sup> *Цикл Кельвина* – серия биохимических реакций, осуществляемая при фотосинтезе растениями, цианобактериями, прохлорофитами и пурпурными бактериями, а также многими бактериями хемосинтетиками, является наиболее распространенным из механизмов автотрофной фиксации CO<sub>2</sub>.

многоступенчатого процесса. Тогда, я думаю, мы будем гораздо более успешны в моделировании происхождения жизни.

Необходимо исследовать самоорганизацию агентно-средовых комплексов, таких как смеси липидных капель в воде с наличием катализаторов, т.е. фактически нужно имитировать примитивную экосистему, в которой могла возникать жизнь.

Если жизнь в ближайшем районе нашей галактики распространялась из одного источника, то возможно, что человеческая цивилизация – это первый случай его успешного формирования. То есть теперь у нас имеется некая точка отсчета возраста жизни, и, по-видимому, на разных планетах она могла идти с немножко разной скоростью, и поэтому всякие подсчеты количества возможных цивилизаций в нашей галактике должны исходить из этого эволюционного принципа. В области философии необходимо дополнить механистическую модель мира биосемиотическим подходом, что я и пытался делать в моем докладе.

Спасибо за внимание!

### **Агентность как фактор творческой эволюции**

В данном докладе я буду в очень прикладном аспекте рассматривать теорию агентности как фактор творческой эволюции и как, в общем-то, ядро расширенного эволюционного синтеза. Здесь происходит как бы смыкание этих двух направлений в развитии теоретической биологии. И, надеюсь, мы как-то будем способствовать их интеграции. Я как раз и имею ввиду расширенный эволюционный синтез.

Неодарвинизм или синтетическая теория эволюции (СТЭ) – это геноцентрическая концепция. Она, к тому же, механистическая, строящаяся снизу-вверх. То есть все начинается с нуклеотидов. Нуклеотиды включены в кодоны, в триплеты, включены в гены, и так далее. А гены определяют белок, а белок определяет фенотип, вот такая снизу-вверх иерархия идет. И основным фактором в этой концепции являются мутации, которые отсеиваются ситом естественного отбора, причем чисто пассивно, как утверждали классики синтетической теории эволюции, и в результате получается эволюция.

А творческая эволюция – это концепция, предложенная Анри Бергсоном в самом начале XX в. и, в общем-то, это была революционная книжка, которая была мгновенно переведена на все языки, и она не только биологическая, она глубоко философская<sup>1</sup>.

Там Бергсон рассматривает проблему времени, проблему длительности, т.е. там масса очень интересных идей. И самое главное, что, с его

---

<sup>1</sup> Имеется в виду книга А. Бергсона «Творческая эволюция» (L'Évolution créatrice), вышедшая в 1907 г.

точки зрения, эволюция управляется не столько снизу-вверх, сколько сверху-вниз, т.е. она начинается с целого организма, с его потребностей, возможностей, с того, как эти потребности и возможности активно реализуются за счет активности организма.

Поэтому в центре внимания оказываются такие биологические процессы, как рост, развитие, дифференциация, пластичность и приспособляемость. Тут еще нужно упомянуть Льва Семёновича Берга, который написал книжку про номогенез<sup>1</sup>. В его концепции это понятие целого организма как фактор эволюции тоже было центральным, и он считал, что основное свойство жизни – это приспособляемость. В общем-то, это очень мудрая идея, которая перекликается с идеями Бергсона.

Для того, чтобы подойти к понятию творческой эволюции, нужно прежде всего понять, что геном – это не чертеж строения организма. Вот такая упрощенная идея порой активно пропагандируется. Она нас уводит от биологии и приводит к механике, к статистике и к потере понимания сущности биологической эволюции. Гены не описывают фенотип организма, и они даже не описывают биохимический состав организма. Существует масса соединений, которые никак не закодированы в геноме, но тем не менее они стабильно воспроизводятся. Значит, гены совсем не нужны для воспроизведения этих компонентов.

Единственное, что описывают гены, – абстрактную последовательность мономеров в каких-то абстрактных полимерах. Не сказано, о каких полимерах идет речь, не сказано, какие мономеры. Ничего этого не описано, потому что это все просто свойства тех агентов, которые интерпретируют гены, а вовсе не свойства генетического текста. То есть нет такого гена, который бы указывал, что эти полимеры должны быть белками. Кроме того, геном кодирует регуляцию активности генов, и таким образом он является как бы ареной взаимодействия регуляторных факторов, например, транскрипционных факторов, регуляцию активности генов, и таким образом он является как бы ареной взаимодействия регуляторных факторов, традиционных факторов, гистонов и так далее.

Белки закодированы не полностью, а только их последовательность, линейная последовательность, они еще должны свернуться определенным образом. Они должны начать производить многие белки. Нужно потом образовывать вторичную структуру. Их нужно иногда резать на части, образовывать дополнительные связки. То есть там масса трансформаций, которые еще требуются, т.е. исходная последовательность аминокислот – это просто полуфабрикат, который потом используется агентами клетки для того, чтобы делать что-то более осмысленное.

Ну и третье, что здесь надо указать, что мутация – это не новое приспособление, а шум. Дело в том, что геном содержит очень много нуклео-

---

<sup>1</sup> Берг Л.С. Номогенез, или Эволюция на основе закономерностей. – Петербург: Государственное издательство, 1922.

тидов, и изменение каждого нуклеотида может ничего не изменить. С одной стороны, он может либо ничего не изменить или может нарушить массу процессов, так что рассматривать мутацию как приспособление – это большая ошибка.

Однако подагенты клетки, т.е. рибосомы и белки, которые интерпретируют геном, могут творчески переинтерпретировать мутацию. Ну, в крайнем случае они, например, могут ее нейтрализовать. Так что она вообще никак не проявится фенотипически. Если они не могут ее нейтрализовать так, что она вообще будет пытаться сделать что-то еще, например, они могут прекратить транскрипцию этого гена, т.е. заставить этот ген замолчать. В этом случае какой-то другой ген возьмет эту функцию, и метаболизм восстановится.

То есть существуют масса способов переинтерпретации мутаций. И в очень редких случаях мутация приводит к некоторым существенным преобразованиям метаболизма, когда клетка начинает функционировать существенно по-другому, и тогда она проявляется в фенотипе и может оказаться полезной. Но, если она полезна, то это в большей степени заслуга интерпретирующих компонентов, чем самой мутации, потому что мутация – это просто шум. Шум – это как бы потенциальность, т.е. это та комбинация, которая может оказаться шумом. Мы тоже иногда интерпретируем шум, когда нам кажется, что кто-то говорит: если я сейчас говорю, например, на каком-то другом языке, это будет ощущаться как шум, но на самом деле, вот в этом-то и дело, что мутация – это не другой язык. Иногда в мутациях бывает немножко другой механизм, но сейчас я говорю просто о точечных мутациях.

Когда происходят макромутации, т.е., например, какой-нибудь транспозон может перенести кусок ДНК с одного места на другое, или произойдет горизонтальный перенос генов из одного организма другому организму. Горизонтальный перенос генов достаточно часто встречается в бактериях. Но нельзя сказать, что это происходит очень часто. Зачастую думают, что это случается повседневно. Нет, это достаточно редкие события, но тем не менее они случаются.

Случается ли это в бактериях гораздо чаще, чем в эукариотических клетках? Мне кажется, это очень важный вопрос, который позволяет понимать, что такое вообще шум. Шум – это некий сигнал или то, что кажется, что это сигнал. Но на самом деле он бессмыслен, он лишен смысла для клетки. Здесь все дело в интерпретации. Это даже не сигнал, это то, что может стать сигналом, т.е. это некоторые колебания или некоторые насечки. Я перевожу это в лингвистику, в черточки и нарезки, которые существуют на каких-то палочках. Один человек подойдет, и для него они будут случайными царапинами, а другой человек подойдет к ним иначе. То есть сами по себе черты и надрезы нельзя назвать ни шумом, ни сигналом. Мы называем их так только в отношении определенного организма и определенной ситуации. Шум как бы встраивается в канал связи, и дальше, если



он не идентифицируется организмом как нечто осмысленное, то он либо отбрасывается вообще, либо приводит к нарушениям. В этом случае мы говорим, что это шум, но для какого-то другого организма это может быть совсем не шум.

Но как тогда отличить нарушение от вариации? Вариация – это и есть шум. То есть мы можем получить вариации, которые жизнеспособны или нежизнеспособны. Но они уже являются вариациями фенотипическими. А мы говорим сейчас про вариации генотипические. Я специально сейчас ограничиваю рассмотрение точечными мутациями, потому что это проще в данном случае. Проще объяснять, потому что весь неодарвинизм основан на анализе точечных мутаций.

Как правило, неодарвинисты не любят рассуждать о макромутациях. Макромутации – это, как правило, большие изменения. Часто то, что называется макромутацией, относится к регуляции на более высоких уровнях, когда идет регуляция гомеостатических генов. В эволюционной теории на самом деле очень много проблем связано с терминологией, с логическими проблемами. Я еще буду об этом говорить.

Так вот, с моей точки зрения, жизненный процесс имеет два канала: информационный и агентивный. Канала два, потому что информация, как мы привыкли говорить о генетической информации или любой другой информации, требует агента, который бы интерпретировал эту информацию, эти знаки, и интерпретировал их в виде определенных действий. В том числе эти действия могут включать дубликацию знаков, дубликацию генома, преобразование знаков или знакового процесса.

К тому же, интерпретацией является развитие самих агентов, т.е. агент этот, как Михаил Ильин говорил, – есть процесс, причем масса процессов на многих уровнях одновременно, которые приводят к эмбриональному развитию, к формированию разных тканей. Во взаимодействие между ними включаются новые информационные процессы, которые здесь не указаны. Здесь я показываю только генетическую информацию, а на самом деле там еще масса других дочерних информационных процессов, где эти два канала как бы дублируются, раздваиваются, так что картина будет гораздо более сложная. Я показываю, чтобы было понятно, что существует обязательно два канала, и смысл информации зависит от агента, который его интерпретирует, т.е. он специфичен для интерпретирующего агента, хотя он может иметь смысл и для других агентов.

Поэтому, если эта информация попадет к другому агенту, возможно, произойдет неверная интерпретация или переинтерпретация, которая иногда имеет смысл, иногда не имеет смысла, т.е. эта ситуация сложная, но тем не менее смысл связан с тем агентом, который интерпретирует. Поэтому нельзя говорить, что геном имеет смысл сам по себе. Он не имеет абсолютно никакого смысла. То есть там есть только какие-то корреляции, автокорреляции, а смысла там нет.

Теперь я на конкретном примере покажу, в чем проблема неодарвинизма и в чем *преимущество агентного подхода, который является основой расширенного эволюционного синтеза*.

Рассмотрим классический пример дарвинизма – возникновение устойчивости бактерий к антибиотикам. Без антибиотика бактерии прекрасно живут, а если добавляется антибиотик в среду, то большинство бактерий начинает себя плохо чувствовать, и в конце концов они гибнут, и в то же время какие-то случайно возникшие устойчивые бактерии оказываются жизнеспособными. В условиях антибиотика они начинают размножаться быстрее, и в конце концов вся популяция оказывается состоящей из устойчивых бактерий. То есть в зависимости от среды один фенотип выживает и размножается, а другой гибнет.

Означает ли это естественный отбор на самом деле? Естественно, отбор часто определяется именно таким способом, но означает ли он эволюцию? Возникает вопрос, а откуда взялись резистентные бактерии? Почему они не вымерли, если они были менее приспособлены, чем нормальные бактерии, с самого начала? И если они в начале уже были, то эволюция как бы уже произошла раньше.

Здесь, фактически, происходит смешение двух понятий. Понятия эволюции и понятия динамики численности. И, естественно, отбор в таком классическом понимании – это чистая динамика численности гетерогенной популяции, больше ничего. И она не объясняет, откуда берутся новые формы, т.е. процесс формообразования в биологии совершенно не анализируется неодарвинизмом.

И чтобы получить резистентную бактерию одной мутации, предположение строится на том, что они полезны. А это ошибка. Никто никогда не показал, что мутация является полезной. Полезной является совокупность мутаций аллеля, который имеет, как правило, не одну мутацию, а много мутаций. А я хочу обратить внимание на другое, на то, что нам понятно, что такое изменение численности и динамики численности, а что такое эволюция, не понятно.

Следующий вопрос – очень серьезный. Я попытаюсь показать то, что Хаксли говорил про случайные мутации, которые не могут привести к тому, что киты изменяются в случайном направлении появления перьев, а птицы – в направлении появления китового уса. Конечно, это гипербола. Но какой смысл того, что высказывал старший Хаксли<sup>1</sup> (он был «цепным псом» Дарвина)? В эволюции существуют какие-то определенные направления изменчивости, и эти направления далеко не объясняются мутациями, потому что изменчивость может возникнуть без всякой мутации. Она может возникнуть просто в силу изменения условий среды, скажем, под

---

<sup>1</sup> **Хаксли Томас Генри** (1825–1895) английский антрополог, который специализировался на сравнительной анатомии. Он стал известен как «Бульдог Дарвина» за активную пропаганду теории эволюции Чарльза Дарвина.

воздействием стресса. То есть изменчивость возникает на гораздо более высоком уровне, и мутация здесь ни при чем. То есть мутация – это такой «демон» или «дух», который используется в этих рассуждениях, а на самом деле никто не показал, что мутации бывают полезны, т.е. нет ни одной статьи, которая показала бы, что существует мутация, которая полезна.

Таких мутаций не бывает, но есть полезные аллели. Если они есть, то это связано с большим количеством мутаций, а тут возникает следующий полезный вопрос. Мутации – это всегда для кого-то, т.е. они появляются, если уже есть субъект. А для кого появляются полезные аллели? Для вида? В данном случае мы рассматриваем какой-то такой эксперимент *in vitro*. Даже если он *in vitro*, все равно, полезность сама по себе предполагает существование на более высоком уровне для вида, и на менее высоком уровне – для организма.

**Реплика.** Это означает, что у нас появился новый аллель?

**Шаров А.А.** Верно, да, но этот аллель, как правило, не будет приспособлен ни к какой среде. Я про это и говорю, что нет такого аллеля, который бы возник в результате точечной мутации и вдруг обеспечил приспособление. Это абсолютно невероятно. Вероятность такая же, как чтобы кирпич, который упал на оленя, взлетел, а этот олень выжил. Тогда он, действительно, может приобрести полезность со временем. Но для кого? Это уже вопросы эпигенетики. То есть это вопрос уже совсем, совсем более высокого уровня для нашего семинара.

Сейчас я рассматриваю дарвинскую, неodarвинистскую концепцию. У меня возникает вопрос, как же биосемиотика объясняет появление устойчивости бактерий к антибиотикам. Устойчивость появилась гораздо раньше, задолго до изобретения антибиотиков, так что популяция способна быстро перестраиваться и включить уже существующие механизмы адаптации. Вот здесь агентность проявляется как раз так, что уже есть готовые формы агентности для выживания в условиях химического стресса, а бактерии всегда жили в условиях химического стресса. Просто это были не антибиотики, а какие-то другие бактерии, конкурирующие с ними в разных условиях. Так что бактерии привыкли к химическому стрессу и разработали эффективные механизмы защиты. Это не единичная мутация. Это очень сложные перестройки, очень сложные процессы, включающие многие гены и многие процессы, такие как изоляция от скачка опасных молекул, предотвращения контакта с антибиотиком чувствительной молекулы, т.е. это очень большой комплекс приспособлений.

И вот такое привыкание вырабатывается в результате отбора эволюционных веток с наиболее эффективными комплексами защиты, которые полезны в течение повторяющихся стрессов, т.е. в течение многократного тестирования. Это не какой-то единичный акт, а долгосрочная стратегия выживания видов.

**Ильин М.В.** Таким образом, здесь есть два вопроса. Вопрос первый: то, что ты описываешь, – это тотальное изменение физиологического со-

стояния. Но тогда почему это семиотический процесс? И второй вопрос: как мы узнаем о том, что это произошло? Опять же, приспособление оказывается не наблюдаемым, а реконструируемым процессом.

**Шаров А.А.** Но почему оно одновременно с этим наблюдаемое? Мы видим, что в условиях химического стресса бактерии включают определенные гены; значит, существует регуляция генов, и бактерии включают те гены, которые ответственны за защиту против химического стресса. И мы знаем, что это за гены, мы знаем, как они работают. То есть у нас получается такая штука, что одно дело, что у нас есть защита, которая когда-то возникла, и ее возникновение непонятно, не наблюдаемо. А другое дело, что она реализуется через то, что в нужный момент включаются определенные гены. И вот это мы можем наблюдать. Таким образом можно наблюдать исключение тех или иных генов, и мы постулируем, что они являются выразительными к этому химическому устройству. То есть на самом деле мы действительно только реконструируем целенаправленность бактериальных агентов, потому что бактерии не могут нам сообщить, что у них стресс, в отличие от пациента, т.е. мы наблюдаем наблюдателя.

**Ильин М.В.** Все-таки не происходит ли некоторого спутывания понятия, что бактерии используют готовые механизмы, или все-таки факторы резистентности передаются?

**Шаров А.А.** Факторы резистентности передаются без сомнения, так что же в этом? Все-таки мы здесь обсуждаем, что это *стандартный механизм реакции*, как у нас иммунитет, или что все-таки он включает передачу факторов резистентности, что *появляются все-таки новые резистентные формы*. А резистентная форма — она не новая, она просто факультативная, т.е. она включается тогда, когда возникают условия, когда ее нужно включить, и включается она за счет биологической сигнализации. То есть фактически это то, о чем писал Лев Семёнович Берг, о том, что *организм приспосаблием*, и вот эта *приспособляемость является основным фактором эволюции*. То есть она возникает, и, когда она проявляет свое наличие, она может, как бы сказать, немножко модифицировать условия, при которых она проявляется. Значит, в данном случае мы опять возвращаемся к Хаксли.

Бактерии имеют способность меняться в этом направлении. Но когда они переключаются на этот фенотип, мы точно не знаем. То есть мы знаем, что есть масса факторов, есть очень сложная, контекстуальная регуляция этого переключения, и отдельная мутация может изменить его условия, потому что тут неустойчивое состояние, и одного нуклеотида может хватить для того, чтобы переключить включение этой системы на немножко другой контекст. И вот тогда мы можем увидеть полезный эффект мутации. То есть мутация не сама по себе полезная, а она полезна благодаря тому, что уже существует полезный механизм, и ей этот механизм нужно только включить.

**Ильин М.В.** Это понятно, а вот логика – нет. Механизм или контекст? Откуда взялся контекст? Речь шла о механизмах, и вдруг появился контекст.

**Шаров А.А.** Я говорю о механизмах упрощенно, с биохимической точки зрения. А контекст взялся, потому что бактерия оценивает не только химический стресс. Она оценивает массу других факторов: в каком она состоянии, находится ли она в состоянии деления или в состоянии образования, и в зависимости от этого она будет по-разному реагировать на химический стресс, на все остальное, т.е. все там взаимосвязано.

**Ильин М.В.** Так мы договорились, что это физиологическое состояние, а не контекст. А физиологическое состояние есть первый контекст из контекстов? Это важно выяснить.

**Шаров А.А.** Вообще контекст плохой термин, он чисто лингвистический, т.е. он слишком сложный, и переносить его на что-то простое – это заведомо путать самих себя. Как биосемиотики, мы часто используем этот термин, причем как для внутренних факторов, так и для внешних. Это как с пользой, с полезностью. Мы можем использовать даже термин счастье, ощущение, человеческое счастье. Мы можем человеческое счастье приписать бактериям, но это же будет неверно. Поэтому давайте двигаться вперед, я хочу все-таки закончить свой доклад.

Вот второй пример – эволюция березовой пяденицы (бабочки – вредителя). Это такой классический пример дарвиновского естественного отбора. Березовые пяденицы имеют две формы: белая и черная. И светлая форма неотличима на белой коре березы, поэтому хищники не могут найти белых бабочек, и они выживают, в то время как черных они склевывают. Темная форма *карбонарии* быстро размножилась в Англии, в промышленных районах, где кора берез потемнела. Как же, спрашивается, темная форма могла появиться так быстро?

Англичане – люди въедливые, они долго исследовали этот пример. Они хотели найти доказательства дарвиновского естественного отбора. Одна лаборатория десятки лет исследовали эту ситуацию. Сначала они смотрели синтез меланина, какие гены участвуют в синтезе меланина, потому что он отвечает за темную окраску. Оказалось, что ни один из генов синтеза меланина не изменяется, они все идентичны. Стали искать дальше и путем ассоциативного анализа генома нашли 10 килобайт, где, возможно, находится вот этот фактор. Они его сужали, сужали, и в конце концов нашли транспозон, который отличает темную форму от белой. Транспозон – это, на самом деле, тоже шум; это вирус, который случайно меняет свое положение. Он может нарушать какие-то процессы, иногда он может переставлять гены. То есть фактически они не нашли функциональный элемент, который бы изменял окраску, а нашли некий шум, некий стресс, т.е. ситуация очень похожа на первый пример.

Что вытекает из этого исследования? Скорее всего, что темная форма более древняя, чем светлая, т.е. она не произошла каким-то чудом в

Ливерпуле. Она уже была, она просто не проявлялась. Проявлялась белая форма, потому что она была полезна, так что не надо было изобретать эту темную форму. Опять-таки, там нет абсолютно никакого формообразовательного процесса, это приспособление – имеет разные типы окраски – как бы внутреннее свойство бабочек, которое вырабатывалось в течение миллионов лет эволюции. Когда нужно, они становятся светлыми, когда нужно, они становятся темными или еще какими-нибудь. Разговор идет совсем на другом уровне, чем то, что предлагалось в классическом примере дарвинизма.

**Ильин М.В.** А можно такой вопрос? Ну вот понятно, что это можно объяснить, как-то, а у меня другой вопрос. А есть ли исследования по интенсивности склеивания светлых и темных форм? И показывала ли статистическая достоверность разницу?

**Шаров А.А.** Я не смотрел такие работы. Какие-то работы есть, понятно, я их просто не смотрел. Хорошо, ну я тоже случайно наткнулся на эту статью, был поражен просто их результатами.

Требуется переосмысление теории отбора в английском языке. Естественно, что отбор – *selection* – часто интерпретируется буквально. Как будто природа отбирает жизнеспособные организмы, бракует нежизнеспособные, но это очевидная небылица, поскольку природа не является агентом, и природа не делает никаких выборов. С точки зрения биосемиотики, это некое мифическое существо. Биологи часто оперируют мифологическими символами.

Так что же является выбирающим фактором? Оказывается, выбирающим фактором является *сам организм*, т.е. агент, который выбирает тип активности метаболической, морфогенетической, поведенческой. Любой выбор – это *отбор на основе памяти сенсорной информации, и этот выбор затем приводит к эволюционным последствиям*. Вот так движется эволюция. Выбор он не просто происходит, и на этом все оканчивается. Нет, это лишь начало цепочки каких-то изменений, а если выбор делается постоянно многими организмами, то это в результате приводит к длительному эволюционному процессу.

Отбор не ограничен дифференциальным выживанием и размножением, как считают дарвинисты. Любая активность, выбор места обитания, конструкция ниши, выбор партнера для спаривания, выбор пищи – все это оказывает влияние на направление и скорости эволюции. Таким образом, организм управляет отбором, а не отбор управляет организмом. Отбор идет одновременно на всех уровнях организации агентов: на уровне организма, на уровне клеток, на уровне субклеточных элементов, а также на уровне популяции, общества, и так далее.

**Ильин М.В.** А что такое выбор? Выбор – это то, чем Калеви Кулль интересуется. Налево упадет шарик – это и есть выбор. Значит, Калеви утверждает, что выбор происходит всегда из двух противоположных альтернатив, а я сюда включаю еще выбор делать что-то или не делать ниче-

го. Это тоже выбор. Конечно, история отрицает такой выбор, но я считаю, что выбор делать или не делать тоже очень существенный.

**Шаров А.А.** Но что же такое делать или не делать, выбор вообще? Выбор – это значит, что существует ситуация, в которой возможны некие альтернативы. Например, возможны два фенотипа у бактерий, стрессовый фенотип и нормальный. Если бактерии находятся в нормальном фенотипе, то у них есть возможность переключиться на этот стрессовый фенотип. И это будет выбор при определенных ситуациях, когда, естественно, выбор диктуется как внутренними условиями, так и внешними, и их сочетаниями.

Что такое выбор? Я с философской точки зрения никогда не определял это понятие, можно подумать, как его хорошо бы определить. Давайте вместе думать, но, когда оно входит обсуждение. У меня есть какие-то как раз и вопросы на эту тему, и есть некоторое предположение, такое очень быстрое, но все-таки есть.

Вот такой вопрос, является ли теория естественного отбора ошибкой. Вообще получается, что Дарвин совсем идиот что ли был, что придумал естественный отбор? На самом деле, конечно, нет. И, в общем-то, теория Дарвина вдохновила разработку, например, самообучающихся кибернетических программ. И мы хорошо знаем, что эти программы работают в определенных ситуациях, и работают они исключительно на дарвиновском принципе, т.е. вводятся какие-то данные и какой-то шум, и в пошаговой оптимизации каждый шаг включает серию случайных вариаций. Это простейшая стратегия поиска путем случайных проб и ошибок. И такие программы, как правило, хорошо работают, если число параметров не слишком большое. И если функция приспособленности, т.е. функция полезности, достаточно гладкая. Вот тогда они достаточно хорошо находят оптимум. Приложимы ли эти методы к биологии, где размерность пространства возможного состояния измеряется тысячами для одного гена и миллионами и миллиардами для генома и где функция адаптивного ландшафта меняется скачками, и она совершенно не гладкая?

Никто не показал, что она работает. И поэтому единичная мутация никогда не бывает приспособлена в биологии, поэтому такой процесс случайных прошивок на основе единичных мутаций не будет работать в биологии.

А макромутации уже, может быть, будут работать. Почему? Потому что макромутации – это более крупные единицы, и их уже гораздо меньше, чем отдельных нуклеотидов, и, потом, они сами по себе уже имеют некую функцию, в отличие от нуклеотидов. Поэтому они уже могут быть более гладкими функциями, функциями приспособления, так что макромутации как раз могут работать путем Дарвина.

Таким образом, простая оптимизация могла работать на первом этапе происхождения жизни, поскольку системы были еще слишком простыми и малокомпетентными, и там, возможно, все это работало. Но для более высокоорганизованных организмов необходима именно *творческая*

*эволюция*, которая способна ускорить поиск правильных решений на много порядков по сравнению с простым, случайным перебором прошивок.

Но можно ли считать, что в рамках неопределенной изменчивости могут быть макромутации? Макромутация – это особая тема. Давайте ее пока не будем рассматривать, поскольку, сейчас у меня последняя часть насчет типов естественного отбора и обучения.

Грегори Бейтсон писал о многоуровневом обучении. Помимо простого обучения, ассоциирующего единичную причину со следствием, можно учиться более эффективно, и он называет это вторичным обучением. И по аналогии с этим можно различать простой естественный отбор, который состоит в том, чтобы ждать, пока появится новая мутация, решающая жизненную задачу. Этого можно ждать десятками лет, можно ждать миллионами лет и, как правило, когда такая мутация появится, уже будет поздно. А вторичный естественный отбор – это способность изменять регуляцию процессов таким образом, чтобы не надо было тратить время на ожидание нужной мутации. Так вот, любое обучение требует агентности, однако простой механический естественный отбор не имеет творческого начала, в то время как вторичный отбор формирует новую функциональную структуру организма. Поэтому его можно уже считать творческим фактором творческой эволюции.

Каковы факторы, ускоряющие эволюцию? Вот здесь представлен некоторый набор. При адаптации очень важная вещь – использование ресурсов инструментов и подагентов для новых целей, в том числе горизонтальный перенос генов, симбиоз. Известен анекдот: как можно использовать какой-нибудь простой инструмент, такой как отвертка? Не только для закручивания шурупов. Его можно использовать как оружие при нападении бандитов. Его можно использовать как измерительный прибор. Можно использовать для того, чтобы, например, не закрылась дверь, еще для чего-нибудь. И в биологии это постоянно происходит. То есть любой инструмент можно использовать другими способами, и в том числе информационные инструменты можно использовать другими способами, скажем, геном можно метилировать, можно на него что-то навешивать, т.е. закручивать его в нуклеосомы. Эти нуклеосомы тоже модифицируют, т.е. можно делать что угодно.

Как с текстом можно много чего делать, например, можно его писать на каких-то предметах, можно в текст упаковывать покупки. Масса применений текста может быть, и все это – элементы при адаптации. Затем избыточность, которая тоже является удивительно мощным механизмом увеличения количества потенциальных мутаций, которые могут контролировать один и тот же биологический процесс на разных точках. Можно контролировать транскрипцию, можно трансляцию, деградацию рынка, деградацию протеинов, чего только там не сделаешь, и все это может регулироваться массой мутаций, поэтому не нужно ждать определенной полезной мутации. Любая из этих мутаций, допустим, сойдет, чтобы



не было протеина, потому что он в данном случае вреден для организма, и в данной ситуации он не будет экспрессироваться.

Затем, контроль изменчивости: увеличение изменчивости в неблагоприятных ситуациях и снижение изменчивости в благоприятных. Если ты уже чувствуешь, что тебе хорошо, тогда ты можешь снизить изменчивость, а если тебе плохо, тогда ты увеличиваешь изменчивость. Сохранение нефункциональных компонентов и знаков для будущих нужд – очень важный механизм. Развитие эпигенетической регуляции процессов, не требующей мутации. Но я не буду на этом всем задерживаться. Давайте заканчивать мой доклад.

Можно добавить еще, что поведение может ускорить эволюцию. Ламарк предложил замечательную модель эволюции через поведение, упражнения органов, которые как раз представляют саму агентность. Но ведь Вейсман возразил, что приобретенные морфологические признаки не наследуются, и для доказательства он отрубал мышам хвосты в течение пяти поколений, и подтвердил, что хвосты неизменно появлялись. Но Ламарк-то писал не о морфологии, не о хвостах. Он писал о поведении животных и апеллировал к памяти. Он считал, что память организма как бы может передаваться через поколение точно так же, как память сохраняется с рождения до смерти, и организм помнит все свои события, все свое обучение. Почему бы вот эти элементы памяти не сохранились через поколение? В чем-то он был, конечно, не прав, но не во всем, потому что сейчас мы знаем, что существуют эпигенетические механизмы, которые способны передавать вот эти как бы склонности организма к определенному поведению или к определенным морфологическим процессам, и это может передаваться через поколение. То есть, скажем, приспособление к определенной пище, к определенным условиям жизни, и так далее.

Затем эффект Болдуина, тоже очень важная вещь, которая показывает, что поведение является фактором, который контролирует направление отбора. Если поменялось поведение, то тем самым меняется направление отбора, и совсем другие фенотипы могут оказаться полезными при измененном поведении. И оно работает существенно быстрее, чем, естественно, отбор.

В качестве примера еще приведу происхождение полета насекомых. Был какой-то бескрылый предок насекомых. Потом у него появились некие выросты. По одной теории, это были параанальные выросты, по другой теории, это были жабры, причем жабры такие же, как у ракообразных. Потом эти выросты, или жабры, стали использоваться по-другому, как раз при адаптации. То есть они вырастают, но почему бы их не использовать? Их можно использовать для планирования, а можно грести по воде. Если это были водные организмы, ими можно грести воду. А дальше, соответственно, идет отбор на более длинные выросты, появляется возможность маневрирования. Можно повернуть вправо, можно повернуть влево, а для этого нужны мышцы, которые соединяют эти выросты с телом, чтобы

маневрировать, а раз есть мышцы, значит, можно эти мышцы дальше эволюционировать, правда? Можно сделать их сильнее. А если сделать их сильнее, уже на них можно в какой-то момент и летать. Значит, здесь в начале-то идет поведение, а только потом идут морфологические изменения, которые следуют за поведением.

В общем, вот все, что я хотел сказать. Здесь просто выводы, я не буду их повторять.

**Ильин М.В.** Спасибо огромное! Очень интересно было. Давайте, коллеги, задавайте вопросы, пожалуйста. Для начала у нас серия будет вопросов, потом дебаты.

#### **Alexey Sharov's speeches at seminars at INION RAN**

*Abstract.* The collection contains two presentations by Alexey Sharov at seminars at INION RAN, which were prepared in 2023 – early 2024 as part of the RSF project № 22-18-00383 «Interdisciplinary Methodological Foundations of Extended Evolutionary Synthesis in the Sciences of Life and Society» at the Institute of Scientific Information in Social Sciences. The presentations themselves took place at INION RAS during A. Sharov's visit to Moscow in early 2024. The presentation «The Origin and Evolution of Life in the Universe» contains an expanded presentation of the main ideas of Sharov's article of the same name, published in the current issue of METHOD, as well as a number of topics related to prebiotic evolution, semiotic complexity, and semiotic agents. The second presentation «Agency as a Factor of Creative Evolution» focuses on the role of agency and semiotic agents in the modern approach to evolutionary theory. The author argues that, in contrast to the mechanistic and «genocentric» evolutionism of STE, the extended evolutionary synthesis, based on multi-level semiotic agency, promotes the development of a creative understanding of evolution.

*Keywords:* Origin and evolution of life beyond Earth; prebiotic evolution; semiotic agents; STE; extended evolutionary synthesis; multi-level agency; creative evolution.

*For citation:* Alexey Sharov's speeches at seminars at INION RAN. METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part. 13, Vol. 3, No. 4. – P. 26–50. DOI: 10.31249/metod/2023.04.03

## **Обсуждения выступлений А.А. Шарова в ИНИОН РАН**

*Аннотация.* В подборку включены два обсуждения выступлений Алексея Шарова в ИНИОН РАН. В первом обсуждении основные вопросы сосредоточены на проблематике общих биохимических представлений о жизни и ее эволюции во Вселенной, обсуждалась гипотеза лепидного мира и семотитические предпосылки пребиотической эволюции, шкала становления геномной сложности, кристаллические аспекты происхождения жизни и др. В ходе второго обсуждения основное внимание было уделено семиотической агентности, биосемиотической проблематике и семиотике в широком смысле. Были затронуты вопросы интерпретации знаков, выбора, адаптивности, наследования в сфере биосемиотической агентности, таорческой эволюции и др.

*Ключевые слова:* происхождение и эволюция жизни; добиологическая эволюция; семиотические агенты и их типы; биосемиотика; расширенный эволюционный синтез; интерпретация знаков; отбор; адаптивность; наследование; творческая эволюция.

*Для цитирования:* Обсуждение выступлений Алексея Шарова // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 51–78. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.04

## **Обсуждение выступления «Происхождение и эволюция жизни во Вселенной»**

**Ильин М.В.** Дорогие коллеги! Начинаем обсуждение. Начнем с вопросов.

**Лапкин В.В.** У меня вопросы разбиваются на два блока. Одни вопросы, так сказать, общефилософского характера, и в принципе этих вопросов два.

Первый вопрос. Как можно было бы определить понятие сложности, причем не знаковой сложности, а то, что следует понимать под сложностью как таковой и под процессами усложнения? Как, как это определить?

И второй. Это фундаментальный вопрос. Что есть жизнь? Где-то очевидным образом химическое усложнение переходит в усложнение биологическое и, собственно, этот переход от химии к биологии – это и есть жизнь. Но важно понять, что, собственно, мы понимаем под жизнью в таком случае?

**Шаров А.А.** Да, давайте на этом пока остановимся. Я отвечу, а потом Вы продолжите свои вопросы. Спасибо! Это и очень интересный вопрос. Что такое жизнь? Я считаю, что следует рассматривать понятие жизни, так, как оно сложилось. То есть не стоит менять термин жизни в зависимости от того, какие мы гипотезы ее происхождения предлагаем. То есть жизнь – то, что мы привыкли считать жизнью, потому что существует давняя традиция. Ну, например, есть вирусы, и многие биологи считают, что вирусы это неживые. Я не хочу с этим спорить, поэтому я соглашаюсь с этой терминологией. Но для того, чтобы быть более гибким в формулировке наших положений нужно ввести еще нечто другое. Ввести понятие семиотического агента. Вот семиотический агент – это как бы *обобщение, понятия живого организма*. Что туда входит, в семиотические агенты? Помимо организмов, туда входят, в частности, вирусы, туда входят компоненты организмов, такие, как клетки и даже внутриклеточные автономные компоненты, которые управляются знаковыми процессами, такими как рибосомы, например. Все это – семиотические агенты. Кроме того, много организменные системы, тоже семиотические агенты, такие, как популяция, семья термитная, термитник. И в человеческом обществе у нас имеются нации, государства, имеется правительство, имеется бизнес. Это тоже все сематические агенты, естественно, с гораздо более сложной механикой и с принципом действия.

Простейшие семиотические агенты возникли в форме примитивной жизни. Вот, как я рассказывал. Но потом с эволюцией жизни живые организмы начинают формировать неживые семиотических агентов, таких, как рибосомы, например. Рибосома – это фактически как бы компьютер, это трехмерный принтер внутри клетки, который печатает протеины. Конечно, функций там много, но, по сути, это вот такой неживой семиотический агент, который формируется живым агентом.

Чем занимаются люди? Люди делают роботов. Люди делают компьютеры, которые тоже являются семиотическими агентами и выполняют какой-то определенный, достаточно узкий круг функций. Эти семиотические агенты не могут саморазмножаться. Они требуют того, чтобы их конструировали. Этих семиотических агентов я называю агентами второго типа, потому что они зависимые, они не размножаются, они просто выполняют роль слуг для обслуживания первичных агентов.

**Лапкин В.В.** Уточняющий вопрос. Правильно ли я понимаю, что к семиотическим агентам второго рода можно отнести и прионные ландшафты, которые формируются уже во многом человеком и атмосфера, которая сформировалась уже.

**Шаров А.А.** Скорее, да. Тут есть такая тонкость, что семиотический агент все-таки должен быть активен, т.е. он должен быть все-таки автономен... В принципе ландшафты, да, они немножко активны. Да, и атмосфера активна, но атмосфера активна в основном в силу физических причин, а не семиотических причин, так что атмосфера вряд ли. Вот, на-

пример, такая вещь, как гипотеза Геи Джеймса Лавлока<sup>1</sup>. Вы знаете, да? Гипотеза Геи.

Вот что меня поразило, что эта идея о липидных каплях на поверхности которых живут коэнзимы, она же очень похожа на Землю, на поверхности которой живут живые организмы, так что, в принципе вот такое может тоже рассматриваться как семиотический агент. И возможно, что она Гея способна к размножению в будущем, когда вдруг, если человечество разработает пути заселения других планет земными организмами, то это будет фактически размножением Геи.

Второй вопрос. Понятие сложности. Да, это тоже очень интересный вопрос. Действительно, то, что я здесь рассказал, это все связано со сложной сложностью живых организмов. А как же быть со сложностью в физическом мире? Я долго думал над этой проблемой. Недавно я редактировал книжку, которую подготовил мой товарищ Джордж Михайловский. Книжка называется «Pathway to the origin and evolution of meaning in the universe» («Путь к зарождению и эволюции смысла во Вселенной»).

Я думал, как же распространить это понятие сложности на неорганический мир, и вот мое решение такое. Поскольку я сторонник биосемиотики, т.е. я считаю, что знаки существуют только в живых организмах, и смысл существует только в живых организмах. Но в неживой природе как бы существуют предшественники смыслов. Я их называю *потенциальными смыслами*. Потенциальные смыслы – это такие свойства физических объектов, которые *могут быть использованы живыми организмами*. Как мы их знаем, сейчас, ну, например, какие-то химические соединения. Они могут быть ресурсами. Я рассказывал, допустим, о липидных каплях, или полиароматические углеводороды, т.е. это достаточно сложные компоненты. Вот, они могут быть ресурсами для жизни. Потом жизнь может использовать какие-то физические структуры, такие как ландшафты, или разделения сред, завихрения, волны. И вот, если они могут быть как-то использованы живыми организмами, то мы как бы экстраполируем наши

---

<sup>1</sup> Gaia hypothesis – также известная как «теория Геи», «принцип Геи» и «парадигма Геи» – предположение, первоначально выдвинутое в 1970 г. британским климатологом Джеймсом Лавлоком в сотрудничестве с американским микробиологом Линн Маргулис, но также упоминаемое другими учеными до них, согласно которой Земля «динамичная физиологическая система, которая включает в себя биосферу и поддерживает нашу планету более трех миллиардов лет в гармонии с жизнью», что означает, что живые организмы взаимодействуют со своим неорганическим окружением на Земле, образуя саморегулирующуюся сложную систему, которая помогает поддерживать и сохранять условия, подходящие для жизни на планете. Все живые существа на Земле, таким образом, образуют огромный суперорганизм – называемый «Гея», по имени богини древнегреческой мифологии, олицетворяющей Землю – осознав саморегуляцию ее компонентов, способствующих жизни. Примером, приведенным Лавлоком в поддержку его гипотезы, является состав атмосферы, который, как утверждается, регулировался с течением времени таким образом, чтобы обеспечить развитие и поддержание жизни.

знания о живых организмах на неорганическую природу, вплоть до появления жизни. То есть мы фактически делаем реконструкцию Вселенной до появления жизни, с учетом того, что мы знаем о жизни теперь, и если мы начинаем знать о жизни немножко больше, то мы должны как бы перепроектировать и дополнить наше представление о смыслах и о сложности, физической сложности, базируясь на том, что мы только что узнали.

**Лапкин В.В.** Еще вопрос о шкале появления жизни<sup>1</sup>. Когда появляются семиотические агенты в большом количестве? Это очень большой вопрос. Здесь показано, что они появляются 9 млрд лет назад. А можно узнать, условно, когда можно говорить о появлении жизни до того, как она возникла на Земле.

**Шаров А.А.** Наверное, правильное было бы сформулировать так: семиотические агенты возникли задолго до формирования Земли, потому что я здесь говорю именно о семиотических агентах. Конечно, те примитивные системы, с которых началась эволюция их трудно назвать живыми. И давайте не будем называть их живыми. С какого момента? Скорее всего, с появления клетки, я думаю. Появление клетки, наверное, это тот барьер. И скорее всего, эта клетка уже имела нуклеиновые кислоты.

**Лапкин В.В.** Я согласен относительно клетки. Но какова была длина ее генома, условная, вот на этой шкале?

**Шаров А.А.** Скорее всего, это было несколько десятков, может быть, дюжина нуклеотидов, т.е. где-то 8,5 млрд лет назад, где-то 8,8 млрд лет.

**Лапкин В.В.** Хорошо, спасибо! Вторая часть вопросов немножко о другом. Я все-таки имею и химическое, так сказать, образование. Я более-менее представляю эти молекулы, о которых здесь идет речь. Я просто хочу сказать в качестве предположения, что существуют и многочисленные другие классы соединений очень в этом смысле перспективных помимо углеводородов и тех, которые были приведены, и даже изначально перспективнее их и не менее, мне кажется, устойчивые.

У описанной Вами проблемы есть две составляющие. Это – зарождение собственно сложных структур, тех, что можно назвать символическими агентами и включить их в приемлемую для них сеть. Это – первое.

И второе – это уже транспортировка этих продуктов в их жизнедеятельности через космос. Это – второй момент.

Вот как они перемещаются? Возможно, что они перемещаются так, как было сказано, – в глубине больших астероидов. Но вот зарождение? Там очень много совершенно понятных и очевидных граничных условий, как по шкале температуры, так и по шкале приемлемых растворителей. Но, судя по конечному результату, скорее всего, все продукты жизни и жизнедеятельности, которые мы наблюдаем в качестве семиотических агентов первичных, они все происходили в средах, в которых была вода,

---

<sup>1</sup> Шкала на рис. 3 из предшествующей статьи Шарова.

был диапазон температур, как здесь указано, где-то от нуля до 60 градусов, даже уже были еще некоторые особенности этой атмосферы в этих средах.

Как правило они, во-первых, хорошо изучены химически. Вот, допустим, у вас ни разу не встречается в этом описании такое явление как мицелла и мицеллярный катализ. Они хорошо изучены. Очень хорошо и давно изучены. И они очень перспективны. С точки зрения всего того, что связано с энзимами и с их, так сказать, каталитической деятельностью и сопровождением всяких сложных органических продуктов. Это, во-первых.

Во-вторых, в этих средах есть липидные капли, хотя они очень наглядны и хороши. Но они не являются наиболее очевидными агентами, потому что там скорее какие-то замещенные таллоцианины должны присутствовать. Это азотосодержащие такие циклические органические соединения. Очень большое многообразие. Главное, что они могут быть замещены и очень легко. Они дают устойчивые замещенные производные с фосфором, с фосфорильными группами и так далее. И они очень устойчивы, они обладают удивительными, очень серьезными фотокаталитическими свойствами, они преобразуют излучение. Они широко используются.

Я обращаю Ваше внимание, что есть этот очень значительный класс. Я сам никогда по этой проблематике не писал, но я представляю, какими могли бы быть компоненты, в которых эти процессы шли бы гораздо более устойчиво, образовывались бы более устойчивые и воспроизводимые структуры и так далее. В этих соединениях не составляло проблемы легкого включения на самых ранних этапах азота и фосфора в состав органических соединений. Причем азота и фосфора в качестве очень важных компонентов, которые придавали всем этим соединениям очень перспективные свойства, с точки зрения производства всевозможных семантических агентов и их размножения, их, так сказать, усложнения, усовершенствования и так далее.

Я просто обращаю Ваше внимание, что теми классами соединений, которые вы использовали, дело отнюдь не исчерпывается. Там возможно гораздо богаче. Более того, существует достаточно большое количество уже даже не просто публикаций. Это большие и очень развитые, давно существующие направления в химической энзимологии, которые все это изучают. Они изучают это, не углубляясь в происхождение жизни, а изучают это просто как химические соединения на грани живого и неживого и как непосредственно участвующие, в том числе и в каких-то процессах жизнедеятельности организма, в том числе и на клеточном уровне, и на уровне генома, на уровне РНК и так далее. Все это очень основательно, давно и серьезно изучается. Тут как бы напрашивается возможность какого-то синтеза и обмена информацией. Спасибо!

**Шаров А.А.** Можно ответить? Я хотел бы ответить на этот вопрос. Я на самом деле читал про эти мицеллы. Что такое мицеллы? Мицелла – это фактически жировая капля. Но то, о чем Вы говорите, – это макроми-

целлы. А то, о чем здесь шла речь, – это микромицеллы, которые микроскопического размера. Макромицеллы синтезируются каким-то очень сложным способом. То есть это то, что возникает в химических реакторах. Все это применяется в целом для медицины, в основном потому, что они перспективны для изготовления лекарств, для доставки лекарств. И также в химическом синтезе они используются. То есть – это вообще хороший инструмент для химиков. Но вот то, что я читал по крайней мере про эти мицеллы, у меня создалось впечатление, что эти мицеллы особенно гетерогенные, в них еще многое навешано дополнительно. Это молекулы искусственные, фактически это искусственный продукт. Его получить естественным путем очень маловероятно, чтобы он получился естественным путем, да, еще в большой концентрации, чтобы они могли как-то взаимодействовать. У меня не сложилось впечатление, что они могли быть предшественниками каких-то живых систем.

**Лапкин В.В.** Но многие органеллы, которые есть в живой клетке просто являются мицеллами и они там достаточно небольшие.

**Шаров А.А.** Да я знаю. Но те мицеллы которые есть в живой клетке они построены на основе очень сложных молекул они построены есть там, например, разделение фаз жидкой фазы. То есть там есть и нуклеиновые кислоты. Там есть масса всяких белков, причем эти белки очень специфичные. То есть, например, там вот эти самые бляшки амилоидные, которые при Jamie это тоже фактически есть...

**Лапкин В.В.** Дело в том, что просто вся жизнь идет таким путем. Вот эволюция – это когда более совершенные не только организмы, не только клетки, но и более совершенные структуры вообще, полностью поглощают все менее совершенные. На Земле имеются уже более совершенные структуры, те, что мы сейчас наблюдаем. Они просто начисто поглотили, съели и использовали все то, что было на ранних стадиях. То есть мы, в принципе, в биосфере Земли следов вот этих протоструктур, этих простейших мицелл с простейшими свойствами в принципе не найдем, потому что они все уже поглощены, так сказать.

**Ильин М.В.** Почему мы следов не найдем? Сами следы где – т.е.. Вот сейчас об этом.

**Лапкин В.В.** Хорошо, где интересно их можно найти? В космических объектах, возможно, в астероидах можно найти, а на земле нельзя, потому что на земле все это уже поглощено. Жизнь на Земле настолько охватывает и всю атмосферу, до верхних ее слоев и на глубину в несколько километров.

**Ильин М.В.** Может быть лучше задать вопрос, а нельзя ли все-таки где-то найти что-нибудь.

**Лапкин В.В.** Пожалуйста. Если найдем, будет сенсация.

**Ильин М.В.** Вопрос из чата. **Наталья Петровна Сащенко** задала вопрос. Она поблагодарила, во-первых, Алексея Александровича, а



во-вторых, спросила: «Нельзя ли применить метод оценки знаковой сложности генома к оценке когнитивной сложности человека и общества?»

**Шаров А.А.** Скорее всего, можно, но нужно научиться как-то квантовать социальную сложность, в том числе и социальную или сложность сознания. Я на самом деле немножко этим интересовался, и мне интересно было, например, какова скорость усложнения письменности на примере китайских иероглифов. И у меня в одной из статей рассчитаны скорости удвоения этой сложности для некоторых таких систем. На современном примере – это число патентов, рост числа патентов. Сейчас существует масса теорий о сингулярности, как вы знаете. Вроде бы экспоненциальность роста стремится к сингулярности. По данным, которые я анализировал, я нигде не заметил никакого приближения к сингулярности, т.е. все идет еще относительно медленно, никаких признаков сингулярности нет.

**Ильин М.В.** Коллеги, в нашу дискуссию включается Николай Сергеевич Розов. Но прежде чем дать ему слово, я бы хотел сказать о том, что у него совершенно замечательная книжка вышла про антропогенез и происхождение сознания. Там существует идея каскадов изменений, и это очень созвучно идее многоступенчатых химических процессов. А нельзя ли эти многоступенчатые процессы интерпретировать как каскады изменений? И, соответственно, посмотреть на каскады изменений, как на многоступенчатые процессы, и поискать для начала аналогии, а потом может быть, какие-то найти примитивы, которые бы выступали в роли модели для тех и других. Мне кажется, что мы можем поискать примитивы и на самом деле можем найти. Николай Сергеевич, пожалуйста.

**Розов Н.С.** Спасибо! Спасибо за доклад. Действительно потрясающая тема. У меня background психологический, я тоже в МГУ учился, на психфаке и у нас лекции по общей психологии читал Леонтьев Алексей Николаевич, у него есть и большая книга *«Проблемы происхождения психики»*, которая уже давно издана.

И вот про это у меня первый вопрос. Вы говорили про жизнь в основном, но упомянули и сознание. Нет никаких сомнений, что это самая высокая и сложная система. И как-то так получилось, что сразу же семиотика и знаки еще даже до появления жизни. Соответственно потом вся эта знаковость семиотичность развивается и получилось, если я правильно понял, что где жизнь – там будто бы уже и психика. У Леонтьева было не так. У него пока некое одноклеточное хочет просто кушать, да и реагирует на что-то трофическое, на то, что оно съест, или избегает чего-то плохого и оттуда убегает, то это еще не психика. Лишь потом, когда-то она появляется. Вот здесь у него как раз очень любопытная грань прямо семиотическая. Он говорит, что, когда нечто воспринимается как знак чего-то другого. То есть – это еще не пища, но когда на нее реагируешь, что там, может или должна быть пища, то реагируешь на знак. То есть только тогда, когда появляется семиотический знак, он это связывает с психикой. Вот, соответственно, вопрос к Вам. Выделяете ли вы все-таки вот такую

ступеньку? Или уже после появления жизни появляется психика, если да, то где проводите различие, если нет, то насколько оправданно отождествление жизни с психическим.

**Шаров А.А.** Да, я противник такого отождествления жизни с психикой, которая пропагандировалась Матураной и Варелла и теорией аутопоэзиса. Они аутопоэзис отождествляли с сознанием. На мой взгляд, это очень неудачное изобретение. Биосемиотика предлагает гораздо лучшую терминологию, называя все это семиозисом и выделяя разные пороги семиозиса. Об этом, я буду рассказывать завтра более подробно. Но сейчас я только скажу, что я выделяю, во-первых, протосемиозис, это примитивный сигнальный семиозис.

Когда, скажем, бактерия, она не воспринимает внешний мир как реальность, она воспринимает внешний мир просто как совокупность сигналов, которые оттуда поступают больше ничего, т.е. нет понятия реальности как такового, нет понятия объектов. Вот потом следующая ступень эуосемиозис, когда возникает уже комплекс ощущений с помощью многих органов ощущений и которые интегрируются в объекты, т.е. уже возникает понятие объектов и понятие реальности. Вот, и в начале этот семиозис врожденный, т.е. он еще не включает обучение. Тогда, когда он включает обучение, вот тогда я уже называл бы это сознанием. То есть когда организм может обучиться какому-то новому стимулу, который он не знал раньше.

**Розов Н.С.** Подождите, т.е. Вы психику отождествляете с сознанием? То есть у ящериц, у кого-то еще уже было сознание? Вы не проводите разницу между сознанием и психикой?

**Шаров А.А.** Можно проводить. В английском языке есть термин *mind*, который, как правило, относится к более низким уровням и *consciousness*, которое относится к более высоким.

**Розов Н.С.** Еще есть *psycho*.

**Шаров А.А.** *Psycho* я в научной литературе практически не встречал. Это обычно есть в философии, что-то вроде души аристотелевской. Так вот, я считаю, что *mind*, как примитивный порог, это порог, переход от протосемиозиса к эуосемиозису, когда возникает понятие реальности, понятие объектов разных типов. А *consciousness* соответствует уже тому, что иногда называют *sentience*, это типично для более высокоорганизованных животных, начиная с некоторых беспозвоночных, таких, как головоногие моллюски, членистоногие и позвоночные, фактически начиная с рыб.

**Розов Н.С.** То есть между нашим сознанием и сознанием моллюсков вы не проводите разницу?

**Шаров А.А.** Провожу, конечно. Но, смотря каких моллюсков, если головоногие моллюски, то они очень хитрые.

**Розов Н.С.** Хитрость это одно, но у них тоже сознание и здесь уже просто дальше оно количественно просто растет, и принципиальной разницы нет. Я не согласен, но Бог с ним.

Еще такой вопрос, поскольку я интересовался теорией эволюции, у меня сложился такой взгляд, а вы меня поправите. Это как раз к вопросу Владимира Валентиновича (Лапкина), как определять жизнь. Я исхожу из того, что живое обязательно меняется, меняется в поколениях, отвечает на изменение среды, т.е. на вызовы дает какие-то ответы. Эти ответы я называю общим словом структура. Это может быть поведение, практика, способность, орган и, конечно же, какие-то генные основания. Обычно говорят о потребности, для меня более удобно, мне кажется, лучшее слово – забота. И получается так, что живое – это то, что способно какой эволюции структур и забот, т.е. постоянно меняются заботы, потому что среда меняется или есть же конструирование ниш, т.е. то, что сами организмы меняют свою среду, особенно люди. От того, что меняются эти ниши, появляются новые вызовы, и мы вырабатываем новые структуры или во вне себя, или внутри себя, и идет эта коэволюция забот и структур. Вот можно ли и правильно ли вот так определять живое?

**Шаров А.А.** На эту тему ничего не читал, про такую терминологию, так что я в таких терминах не привык думать и рассуждать, что мне довольно трудно.

**Ильин М.В.** Это Николай Сергеевич (Розов) написал. Я дам ссылки. Теперь уже и на английском есть эта книжка. На русском она вышла года назад<sup>1</sup>.

**Розов Н.С.** Так, хорошо. Ну, я думаю, что это просто слова другие. А Вы говорили примерно о том же. Знакомые слова – изменчивость есть, ответ на изменение среды есть. Я просто обобщил разные приспособления, у Вас это называется адаптация. Вот эти разные приспособления, я их назвал структурами, потому что они – это может способность, а может быть ген, – это все равно структура, которая является ответом на вызов среды.

**Шаров А.А.** Да, но бывают адаптации как бы к текущему состоянию среды, а бывают адаптации, которые конституциональные, т.е. те, которые представляют тип организации организма, который создает эту приспособленность. Он сам не обязательно меняется в зависимости от среды. Это – некая матрица, которая необходима для того, чтобы сформировать все остальное.

**Розов Н.С.** Ну да, есть еще ароморфоз.

**Шаров А.А.** Да, есть ароморфоз.

**Авдонин В.С.** Очень хорошо, что можно пообщаться с Вами, Алексей Александрович, напрямую. У меня такой вопрос. В данном выступлении Вы упомянули, не акцентируя, эпигенетику, которая сопровождает генетический процесс, что он сопровождается и эпигенетическим. У нас

---

<sup>1</sup> Розов Н.С. Происхождение языка и сознания. Как социальные порядки и коммуникативные заботы порождали речевые и когнитивные способности. – Новосибирск: Манускрипт, 2022. – 355 с.

на семинаре возникал вопрос об эпигенетике. Многие подвергают сомнению, что это вообще существует. Какова здесь Ваша позиция?

**Шаров А.А.** Мнение и суждение о том, что такое эпигенетика, существует ли она и можно ли ее как-то приспособлять при обсуждении генезиса жизни и так далее. То, что эпигенетика существует, это абсолютно достоверно, и тут нет никакого сомнения, но эпигенетика это достаточно емкий термин и он такой композитный, т.е. он начался с одних вещей, а потом начал наращиваться, как снежный ком. И вот эти слои снежного кома, они становились все более разнородными, и потом, в конце концов, в эпигенетику было включено почти все, включая поведение, сознание. Так что он получился чересчур большим и разнородным, так что, скорее всего, в будущем этот термин будет, видимо, как-то модифицироваться и, может быть, сегрегироваться. Наверное, лучше различать разные типы эпигенетики, потому что они включают совершенно разные вещи.

**Ильин М.В.** Позвольте, я задам парочку вопросов. Они отчасти связаны с тем, о чем я собираюсь говорить завтра. И вообще, по-моему, сегодня у нас получилось очень такое хорошая подготовка к завтрашней конференции. Спасибо тебе за это!

Меня больше интересует самое начало, т.е. меня интересует то, что было до... откуда взялась жизнь, т.е. что было до жизни и то, что было до семиотики. Можно попробовать посмотреть, задаться таким вопросом, что же этому предшествовало. По Дикону<sup>1</sup>, например, могло быть некое *absence* (отсутствие), как отсутствие чего-то, т.е. интенционально требовалось, чтобы что-то появилось. Вот мой вопрос. Что же это? Это было нечто такое, что потребовало появления всех этих вещей. И вот в связи с этим я сейчас буду говорить такими словами, которые, конечно, неточные, но они специально используются для того, чтобы спровоцировать (дискуссию). Я хочу воспользоваться словом *память*. Когда ты начинал свое выступление, это было одно из первых слов, которые ты произнес. Оно на самом деле действительно фундаментально. Без него невозможна какая-то семиотика, какая-то жизнь. Это все связано с памятью, и даже какие-то наши компьютеры, телефоны и так далее. Там память присутствует как нечто очень зримое. Что это такое? Да можно ли ее редуцировать до чего-то совсем примитивного? С моей точки зрения, ее можно редуцировать до очень простого процесса – *копирования*. Смотрите, что получается, если у нас идет копирование, идет процесс копирования просто на уровне физики и химии. Ну, наверное, идет. Да, хорошо, у нас на уровне физики и химии появляются дубликаты. Можно ли их назвать копиями? Ну хорошо, некоторые не согласятся, некоторые согласятся. Задаю вопрос как бы издалека. Вот если у нас появляются копии, то, значит, возникает вопрос:

---

<sup>1</sup> Терренс Уильям Дикон (англ. *Terrence William Deacon*, род. 24.08.1950) – американский нейроантрополог. Доктор философии Гарварда, профессор Калифорнийского ун-та в Беркли.

Что, их инициирует? И какой результат, если мы говорим, что копии появляются? Что-то должно быть инициатором копирования, в результате которого возникла копия. У нас есть нечто, что является, я не знаю чем, – квантом, каким-нибудь химическим веществом – неважно, но что-то, что провоцирует копирование. И у нас появляется некий результат, который, понятно, не память еще. Но, коль скоро это результат копирования, то со временем или, так сказать, в каких-то условиях он может использоваться как память. Является ли это копирование памятью как способностью? Сейчас Николай Сергеевич (Розов) осудит меня за антропоморфизм, за всякие прочие вещи... Но меня интересует просто процесс, он может быть химическим, физическим и так далее. Вот у этого процесса есть какой-то толчок или причина какая-то. И есть результат. Если мы такое начинаем выделять, то можем ли мы на каком-то этапе поставить вопрос по-другому: А может ли это быть не единичным процессом? А может ли это быть массовым процессом? Я специально говорю криво по одной простой причине, чтобы спровоцировать Алексея Александровича (на ответ). Я дальше скажу еще более ужасную вещь, которая тоже провокация на самом деле. Она заключается в том: А можем ли мы начать копировать результаты копирования, массово, т.е. копировать память? И будет ли это каким-то следующим шагом или нет?

**Шаров А.А.** Можно отвечать? Значит, единственный процесс, который можно таким способом проинтерпретировать, это, скорее всего, кристаллизация. Как она происходит? Инициатором кристаллизации является некое случайное возмущение. Вот, например, перенасыщенный раствор, и вот какая-то там песчинка или совершенно не специфический сигнал вызывает кристаллизацию.

**Ильин М.В.** Можем зафиксировать, что не специфический сигнал вызывает кристаллизацию? А может это быть автокатализ?

**Шаров А.А.** катализ, это, как раз, очень специфическая вещь. А здесь как раз не специфическая. Говорить, что это память довольно трудно, потому что эта память ни о чем, потому что исходный сигнал не специфичен, а результат предопределен строением электронной оболочки атома.

**Ильин М.В.** Извини, я перебыю, я специально оговорился, что буду сейчас пользоваться неподходящими словами. Понятное дело, что это не память, но это что-то напоминающее память.

**Шаров А.А.** Да. Что-то напоминающее память. Скажем, физические процессы в звездах, они очень любопытны, там идет формирование ядер разных, и они удивительно похожи друг на друга эти ядра. или вот никто не может отличить одно ядро Гелия от другого ядра Гелия. Вот, так что вся природа, она похожа, имеет повторение. Вот что значит, как мы эти повторения рассматриваем. Давайте просто говорить про повторы. Я боюсь, что мы зайдем слишком далеко, если мы это будем называть памятью.

**Ильин М.В.** Я не предлагаю называть эту памятью. Я не предлагаю рассматривать это как семиотические явления. Я хочу понять, откуда семиотика может взяться и откуда эйдженси / агентность может взяться.

Оно явно берется от того, что им не является. Когда я говорю, что это аналог памяти, вот сегодня, я как раз утверждаю, что давайте искать не память, а что-то, в чем-то похожее на память.

**Шаров А.А.** Семиотика, т.е. та модель происхождения жизни, которую я развиваю, основана на очень слабых взаимодействиях, которые контролируют более сильные взаимодействия, такие, как катализ, а катализ создает условия для следующего уровня, следующего раунда катализа. В результате происходит циклическое копирование, и копирование уже не абстрактного сигнала, а вполне определенного сигнала, которого не было раньше. А кристаллизация никогда не создает чего-то, чего принципиально не было раньше. Конечно, структура кристалла всегда имеет регулярности. Но эти регулярности, они и не повторяются, они исчезают. А что повторяется, – это общая структура кристалла, которая вполне консервативная. Она все время повторяется.

**Ильин М.В.** А можем ли мы рассматривать катализ и автокатализ как неких предшественников того, что может быть памятью?

**Шаров А.А.** Да, несомненно.

**Лапкин В.В.** Возможно, что предшественник предшественника, так сказать, механизма памяти. Но я начну с общих суждений по поводу как раз копирования. Кристаллы это предельно простая система. Это, во-первых, неживое. Хотя, в принципе, можно даже в ДНК найти подобие кристаллической структуры, но это проблема методов. На ДНК были использованы методы структурного анализа, в том числе те, которые позволяют любое упорядочивание показать как структуру. Можно любые упорядоченные молекулярные структуры проанализировать с точки зрения тех порядков, которые у них существуют. Но все-таки привычными кристаллами называется то, что состоит, пусть даже из очень больших молекул, но все равно – это одна молекула, которая расположена так, что ее трансляция по ряду направлений воспроизводит ее на макромасштаб и получается кристалл. Я сразу говорю, что копии сложных объектов получить гораздо сложнее. Невозможно, например, получить копию человека, невозможно вообще получить копии любых динамичных объектов. Можно получить копии их продуктов, и даже можно постараться получить некий инструмент, который позволяет по их продуктам восстановить их самих. На этом основано все то, чем мы занимаемся, видеозапись и так далее. Но это немножко другое. А вот для подхода к пониманию процессов памяти я бы все-таки обратил внимание на такую вещь, которая тоже очень хорошо известна, как информационный обмен. А любой информационный обмен на самом деле, вопреки расхожему представлению о нем, в своей основе имеет наличие двух коррелированных систем. Информационный обмен может быть только между такими системами, которые коррелиро-

ваны между собой. Наличие таких коррелированных систем, появление, таких коррелированных систем и наличие некоего информационного обмена между ними.

**Ильин М.В.** Да, это и есть копирование.

**Лапкин В.В.** Ну, хорошо. Ты обращаешь внимание на некие результаты процесса, а я пытаюсь обратить внимание на некое существо процесса, существо процесса в информационном обмене. Возможно, одним из результатов процесса являются какие-то копии, копии неких сведений, некой информации. Но для меня принципиально более важным является сам процесс обмена информацией.

**Ильин М.В.** А я спрашиваю, настойчиво спрашиваю, меня все время «отсутствие» интересует. Я такой «диконовец». Как только вы говорите, что есть что-то, я говорю, а где же то, когда этого не было? Вот есть какая-то химическая реакция, когда у нас возникает сигнал, понятное дело, что он еще не сигнал, потому что, ты совершенно прав – для этого нужны коррелированные системы всякое прочее. Но вот у нас произошло что-то, в результате чего начинается образование этой коррелированной системы. Но она не может образоваться, если между какими-то двумя нечем чего-то не произошло, вот что-то произошло, пустота заполнена, и вот пошло движение туда. Вот что меня интересует.

**Лапкин В.В.** В этом смысле даже аналогия с кристаллами работает. Я, естественно, согласен, что для образования кристаллов нужен микроразродыш, но этим микроразродышем может быть не только какая-то случайная пылинка, но им может быть и гетерогенная поверхность, просто некая граница сред. Вот она может служить, так сказать, основой для образования кристаллов и может быть микроразродышем вот этого кристалла, т.е. мельчайшая крупинка поваренной соли, если вбросить в насыщенный раствор целевой, то она приведет к образованию кристаллов, их так вообще и растят. Иногда вот эти всякие красивые дендриты потом красят и продают.

**Ильин М.В.** А теперь я предлагаю нам с тобой замолкнуть, а вот Алексей Александрович, нам скажет, что вы, ребята, несете колесницу, у вас такие фантазии нелепые, а я сейчас вам объясню, как это нужно все понимать на самом деле.

**Шаров А.А.** На кристаллы обращали внимание многие. По-моему, это был А. Керенс-Смит, который положил кристаллы в начало жизни<sup>1</sup>. То есть он считал, что жизнь возникла на неорганических кристаллах, и потом она как бы перевелась в органическую форму. Ну, в общем это, конечно, любопытно, но очень проблематично. Потому что никто не знает механизма, как из кристаллов сделать живое. Кристаллы не могут эволюционировать. Хотя можно сказать, что какая-то эволюция происходит, когда бывает две изоформы кристаллов, и в зависимости от того, какой

---

<sup>1</sup> А. Керенс-Смит. Первыми организмами могли быть кристаллы глины.  
<https://coollib.in/b/104172/read#t2>

исходный кристалл, образование по одной форме или по другой форме. Но это не эволюция, потому что никакой новизны тут нет абсолютно, потому что эволюция – это возникновение нового и не просто нового, а нового, которое приспособлено для чего-то, для какой-то биологической функции, чтобы что-то сделать.

**Лапкин В.В.** Хотел бы дополнить. Дело в том, что здесь мы упускаем из виду, по- моему, одну вещь. Ну, много вещей, но вот одну я сейчас ее обозначу. Вот на этой замечательной логарифмической шкале<sup>1</sup>, я, правда, не уверен, что она должна быть обязательно логарифмической, ну, неважно, но на ней, в таком неявном виде, конечно, присутствует время. Время тут играет очень важную роль с точки зрения того, что любые совершенствования протобиологических систем, первоначальных семиотических агентов и так далее, любые их усовершенствования, они приводят к ускорению процесса, динамики этого процесса. В этом смысле мы должны четко понимать, что с момента появления, например, РНК в самых первоначальных ее видах, этот процесс резко ускорился и резко повысился КПД сохранения приобретенных усовершенствований. То есть гораздо большая часть этих усовершенствований, которые появлялись в этих системах, сохранилась и воспроизводилась с появлением РНК, а вот до того и особенно когда мы говорим о каких-то областях, близких к своему состоянию не биологического бытия, там и сама вероятность сохранения каких-то усовершенствований была очень низкой, и сама скорость вообще этих изменений была потрясающе низкая. Поэтому мы должны отдавать себе отчет и не требовать от этих систем того совершенства, которое мы сейчас наблюдаем. И вот в этом смысле то, что могло бы образоваться в качестве таких элементарно каталитических реакций, в том числе на металлических или каких-нибудь минеральных подходящих подложках предполагает очень уже совершенную систему катализатора. На самом деле это может происходить на поверхности минералов каких-то там подходящих. Да, да, самых примитивных. И это наверняка происходило. Мы как бы неявно предполагаем, что в нашей обозримой Вселенной был один источник, поскольку мы вот так рисуем эту шкалу, то, что, если бы предположить, что их было несколько...

**Ильин М.В.** Николай Сергеевич (Розов), нас учит насчет каскадов...

**Лапкин В.В.** Каскады изменяют другое. А источник один – вот здесь, судя по этому графику, источник один, потому что, если бы было несколько источников, то на этой уже логографической прямой были бы изгибы. Но дело в том, что Вселенная она большая, и поэтому я имею ввиду под точкой то, что на очень ранних этапах, даже если там будет каскад на очень ранних этапах, произошло слияние этих действующих факторов, вот этих каскадов.

---

<sup>1</sup> Шкала на рис. 3 из предшествующей статьи Шарова.



То есть после буквально нескольких, условно говоря, сотен миллионов лет уже, так сказать, это все сливается в один процесс. Если так, я бы обратил внимание на то, что эта логарифмическая, прямая, она на самом деле прямая.

То есть предположение, если мы исходим из того, что это прямая ложится так хорошо, на графическом масштабе на линию, то это предполагает определенный характер, как бы взаимодействие вот этих структур, о которых мы говорим.

**Ильин М.В.** Да, если себе сказать, что это действительно прямая единичная, это какая-то условная, прямая, в которой есть какие-то узлы. Разбегание и потом избегание. Вот эти узлы и есть те самые каскады. Я имею ввиду, что здесь для меня важна именно ее динамика. По времени логарифм вот этих изменений, он, так сказать, как бы постоянен по времени.

**Розов Н.С.** Я прошу прощения, это же просто воображаемая экстраполяция, не более того.

**Лапкин В.В.** Ну, там конкретные даты указаны, только экстраполяция, там нет никаких данных, что там было. Вообще нет данных, а может, это тогда не 10 млрд лет, а может, там 6 млрд лет, да, погибаться хоть туда, хоть сюда может. Это просто воображаемая экстраполяция.

**Лапкин В.В.** Хочу сказать то, что от того вида, который мы придадим этой воображаемой экстраполированной линии, от того вида, который мы дадим, мы неявно задаем некий механизм, связывающий динамику вот этого процесса...

**Ильин М.В.** Коллеги, вот мое предложение, давайте мы разные варианты рассмотрим на завтрашней конференции. У нас еще целая жизнь впереди мы еще найдем возможность вместе что-то такое сделать.

**Лапкин В.В.** Надо просто отдавать себе отчет, что все эти наши предположения и экстраполяции несут в себе определенные ограничения, мы тем самым неявно предполагаем определенные виды этого процесса и не только ограничения.

**Ильин М.В.** Они открывают некие возможности, являются и вызовами одновременно. Вот, но я бы попросил Алексея Александровича как-то сформулировать свои впечатления от той дискуссии, которая возникла.

**Шаров А.А.** То, что мне было интересно и полезно – это безусловно. У нас есть различные взгляды, у всех свой опыт работы, свои подходы. Мне было очень интересно познакомиться.

#### **Обсуждение выступления «Агентность как фактор творческой эволюции»**

**Чебанов С.** У меня один вопрос, есть риторический. Где здесь семиотика? Я не вижу здесь никакой семиотики, биосемиотики в частности.

Это первый вопрос.

Вопрос второй. Почему такие изменения определяются как эволюция? Что такое эволюция? В зависимости от того, какие будут признаны характеристики эволюции, у меня возникнут дополнительные вопросы. Можно ли назвать, допустим, такой порядок появления крыльев эволюцией, или это что-то такое другое?

**Шаров А.** Так, я сталкивался с подобными вопросами неоднократно на конференциях. И, в основном, такие вопросы задают люди, которые имеют уже определенную привычку использовать эти термины в определенном контексте. Скажем, большинство людей, которые изучают Пирсовскую семиотику, если там нет Чарльза Пирса, то они отказываются говорить о том, что это семиотика. Говорят: ну, какая это семиотика, вы говорите там о биологии. Вот, это никакая не семиотика. Мы занимаемся своим делом, вот интерпретируем теорией Пирса, а вы чего-то встречаете тут, да и мешаете нам работать. Вот, так что я к этому привык, так что я не буду настаивать, что это семиотика, но на чем я буду настаивать? Что существуют здесь знаковые процессы и что агентность обеспечивается интерпретацией знаков...

**Чебанов С.** Хорошо, а где здесь знаковые процессы, где здесь означающее и означаемое?

**Шаров А.** Означающих тут очень много, в том числе любой генетический знак является означающим. Вот...

**Чебанов С.** ...Понятно...

**Шаров А.** ...означает, да. Означаемое в примитиве – это будет ответ интерпретирующей системы на означающие, т.е. это может быть молекулярное означаемое. Это может быть означаемое на клеточном уровне или на поведенческом уровне.

**Чебанов С.** Ну, а вот можно означаемое сказать? Что такое означаемое на клеточном уровне? Дело в том, что с генетическими штуками понятно, это довольно детально, так сказать, разобрано. Вот, а можно привести означаемых в семиотическом смысле на клеточном уровне?

**Шаров А.** Да, на клеточном уровне. Например, вот транскрипционные факторы, это вот такое означающее, которое выражается в дифференциации клеток в разных направлениях. Скажем, мы берем стволовые клетки, и если мы искусственно экспрессируем определенный транскрипционный фактор, то развитие пойдет в очень определенном направлении, с точки дифференциации будет канализирована в сторону, скажем, нейронов или эндотелиал-клетки или еще что-то.

**Чебанов С.** Мне кажется, что Вы оговорились. Это будет означаемое, а не означающее.

**Шаров А.** Означаемое в данном случае будет результатом дифференциации.

**Ильин М.** Коллеги, вы говорите сразу на двух языках. Вы говорите то ли на соссюрдовском, то ли на пирсовском. Потому что, если по Пирсу, то тогда означаемое и означающее постоянно меняются местами. Тогда по-

лучается путаница, а если вы говорите строго на соссюрковском языке, то вы тогда вообще очень жесткое, так сказать, ограничение вводите.

**Чебанов С.** Да, а на пирсовском языке нет означающих и означаемых.

**Ильин М.** Конечно, нет, у него три функции и того, и другого играют, по очереди, циклически.

**Чебанов С.** Нет, не по очереди, они там будут знаком и интерпретантой...

**Шаров А.** Да. Понимаете, вот все эти существующие семиотические теории, они очень приспособлены к гуманитарной интерпретации.

**Чебанов С.** Да, я согласен. А можете ли вы предложить не гуманитарную семиотическую терминологию?

**Шаров А.** Вот мы этим занимаемся потихонечку, т.е. мы пытаемся и пирсовские термины использовать, и иксюлевские (фон Иксюля): всех, всего понемножку. Я стараюсь не концентрироваться ни на одной из конкретных гуманитарных теорий в данном случае.

**Чебанов С.** Хорошо, мы говорим о том, что у нас есть бельдишки и бабашки. Вот на такой терминологии можно рассказать, что будет с семиозисом на клеточном уровне?

**Шаров А.** Ну, вот я Вам сказал. Значит, есть транскрипционный фактор, который можно интерпретировать как знак. И этот знак интерпретируется клеткой как указание на... То есть, это приказующий знак в данном случае, который приказывает клетке дифференцироваться в определенном направлении.

**Чебанов С.** Вот, тогда камень, находящийся на дне реки, которая направляет потоки, скажем, в одно и в другое ответвление русла, будет тоже знаком?

**Шаров А.** Нет, потому что течение реки – это не продукты эволюции, адаптивной эволюции, в то время как...

**Чебанов С.** Почему?

**Шаров А.** Потому что там нет понятия адаптации, там нет понятия полезности.

**Чебанов С.** Почему нет?

**Ильин М.** Русло менялось. Камень сдвинулся. Почему, почему мы не можем сказать, что эта адаптация... не была адаптация?

**Чебанов С.** Русло стало оптимальное, оно все время оптимизируется.

**Шаров А.** Ну, там нет, нету наследования...

**Чебанов С.** Есть наследование какое-то...

**Шаров А.** А что наследуется?

**Ильин М.** Меняется русло. Старое русло, следы старых русел сохраняются, может вернуться к старому, к новому. Ну, это вот геоморфология, так сказать, там география, это все прекрасно изучается. Вот эти изменения русел там, вот, пожалуйста.

**Шаров А.** Ну, в биологии, значит, чем отличается... Если там есть русло, то оно описывается достаточно небольшим количеством переменных...

**Ильин М.** Да, здесь и сейчас. А если Вы смотрите эволюционно... то эти русла-то меняются..., раньше был Пянж, который на 5 рек растекался...

**Шаров А.** Но это точно, так же, как ураган. Да, он самоорганизующаяся система, которая динамична, но в ней нет (точного) наследования...

**Ильин М.** Коллеги, а можно мне реплику в связи с этим. Просто одно предположение. Вот мне кажется, что у нас, кстати, в МЕТОДе есть совершенно замечательная рубрика... В ней Сергей Викторович выступает, я. И мы вспоминаем с ним о Меррелле с его этим фантастическим... осьминогом, спрутом<sup>1</sup>. Вот там вспоминается еще об одной очень важной вещи. О том, что Ежи Пелтц, такой польский семиотик. Он предложил различать, кроме семиотики, которая, собственно, и построена на знаках, еще «семиозику»..., т.е., науку, учение о семиозисе, как процессе. Он предложил, но аппарата-то семиотики у нас нет. Мы рассуждаем о разных осмысленных процессах. Ну вот, во всяком случае, пытаемся рассуждать... и можно сказать, что это не только сейчас началось. Эти вопросы, обсуждались уже несколько поколений, как обсуждается тот же Пирс, между прочим. Он, придумал, что есть семиозис, а потом, поскольку он был неуловим, он привнес то, что взял счастье и говорит, а вот я теперь с помощью счастья объясню, я теперь с помощью надписей объясню. Вот у меня надписи сделаны с помощью знаков. А теперь я вот этот процесс объясню вот таким образом, а процессы эти еще могут быть без знаков. Но они могут быть вполне значимыми. Они значимы, но вот таких дискретных знаков, которые... в египетских иероглифах представлены и так далее, и так далее, и может еще не быть. А значимость уже возникает, т.е., реакция общающихся. Я произношу какое, какое-то нечленораздельное «Уау» [звук] и еще машу руками, и человек понимает, что я на него сержусь, или я говорю «Уду» [звук], и человек понимает, что я к нему благорасположен. Нету тут ни слов, ни слогов. Ничего. Вот есть просто, вот, некое прагматическое взаимодействие, да? Вот как это изучать? Это большой вопрос. Как, как мы тут вот, Сергей, мы видим, что здесь нечто, так сказать, семиозис уже есть. Нечто уже связанное со значимостью есть, а знаков может еще не быть или, во всяком случае, тех знаков, для которых отработано... отработан аппарат, да?

**Чебанов С.** Так это вот и будет сфера континуальной семиотики...

**Ильин М.** Или семиотики, по Пелтцу...

**Чебанов С.** ...ну пусть будет семиозика. Вот, но с этим как раз приходится иметь дело, когда, допустим, мы занимаемся пением птиц или кваканьем лягушек. Вот, там просто другой тип семиотических средств будет. То есть, вот тут получается очень интересная штука, что там как раз

---

<sup>1</sup> Рубрика представлена в МЕТОД, 2023. Вып. 13, Т. 3, № 2.

будет *континуальная семиотика*, которой (именно континуальной семиотики) не хватает людям. В некотором смысле то, что происходит сейчас, это происходит изобретение, ну, если так говорить, семиозики для людей. Для людей понадобилась семиозика... Семиозика, от которой, казалось бы, отказались в свое время.

**Ильин М.** Так что мы находимся сейчас в такой очень интересной ситуации, когда фактически не только биосемиотика, так сказать, возникает как такая дисциплина на границах, но она меняется, должна меняться в результате возникновения биосемиотики, в которой есть лакуны... Да, возникает потребность в изменении отношений и семиотики с лингвистикой, и с когнитивистикой, и все прочее, с одной стороны, а, с другой стороны – и биологии. Вот, это наш опыт взаимодействия... Он выявляет пустоты и недоработки и там, и там. И поэтому расширенный эволюционный синтез, о котором мы печемся... В чем вообще его привлекательность и важность? Расширенный эволюционный синтез заключается не в том, чтобы взять, сделать еще какую-то теорию эволюционную, которая подойдет для всех. Нет, не будет такого наверняка. Она заключается в том, чтобы путем наших эволюционных манипуляций, так сказать, эволюционный аппарат и биологии, и лингвистики, и когнитивистики, и социальных наук, и так далее, трансформировался таким образом, чтобы, во-первых, они были друг для друга прозрачны, а во-вторых, чтобы они закрыли вот эти пустоты, которые в них есть сейчас. Вот в чем штука!

**Чебанов С.** Да, ну вот такая интересная штука как раз возникает, когда речь идет о паралингвистике. Казалось, что можно отделить лингвистические знаки от не лингвистических, но вдруг возникает такая штука, что нельзя. Например, возникает молчание. Это – лингвистический феномен или нелингвистический феномен? Возникает лингвистика молчания. Если у нас возникла лингвистика молчания, дальше сразу возникает, например, такая штука как лингвистика указательного взгляда тогда, когда человек молчит. Возникает как бы окулистика (как молчаливое общение взглядами), т.е. как другая часть семиотики, эта окулистика оказывается частью лингвистики, ну и так далее.

**Ильин М.** Внутри лингвистики это ровно то, чем сейчас Сурен Тигранович (Золян) занимается со своими коллегами. Это – прагмасемантика, когда прагматические, в том числе и указания с помощью взгляда, условно говоря, факторы, начинают трансформировать семантику ... и, наоборот. Это крайне интересно. Никакая такая «золяновская» прагмасемантика не была бы возможной, если бы он не занимался интерпретацией расшифровки генома.

**Чебанов С.** Мне кажется, что более интересная штука – это трехгранная пирамида – *призма знака* Шингарёвой<sup>1</sup>: там получается, что у нас

---

<sup>1</sup> Чебанов С. Соотношение сравнительной и эволюционной семиотики: почему первая должна предшествовать второй // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из

есть призма, гранями которой является семантика, синтактика и прагматика. Соответственно, дальше у нас будут плоскости эмпирических референтов, планов, материалов плана содержания (фон плана содержания), затем фон плана выражения, материала плана выражения, эмпирических референтов, с помощью которых это передается и тогда, соответственно, вот, ребра – это будет прагмасемантика, прагмасинтактика, синтаксическая семантика и, соответственно, все горизонтальные ребра, которые тоже появятся, тоже будут соответствовать определенным направлениям работы знака и возникающим в связи с этим областям семиотики.

**Ильин М.** Это один из способов представления.

**Чебанов С.** Да.

**Ильин М.** Могут, наверное, быть и другие?

**Шаров А.** Мне кажется, одной из важных черт семиозиса является его воспроизводимость. То есть что, если знак... неважно, что это знак дискретный или знак континуальный, он должен быть воспроизводим в своей какой-то идентичности, и вот эта воспроизводимость, скажем, удовлетворена в примере пения птиц, потому что они синхронизируют это друг с другом и, значит, поддерживают, т.е. этот тип песни поддерживается много лет в одном месте и через поколения. Вот такого мы не встречаем, скажем, в течении реки – ваш предыдущий пример. То есть неживые системы, они совсем другие, они досемиотические, и я бы не хотел применять к неживым системам семиотические термины, потому что там нет вот этой воспроизводимости.

**Чебанов С.** Нет, это как раз очень хорошо воспроизводится. Причем, что любопытно, что, если мы берем... не постоянные реки, а временные потоки сезонные, то как раз от года год они воспроизводятся. Очень интересная штука.

**Ильин М.** Да, и причем они воспроизводятся примерно так же, как воспроизводятся тропинки, которые протаптывают люди. И, между прочим, тоже очень интересно, что как бы эволюционно / исторически люди протаптывали тропинки там, где уже в природе, до них, какие-то проторены условные предпочтительные места были. Вот в чем штука. Поэтому я бы сказал, Алексей, при всем том, что я полностью с Вами согласен, что эти переносы (между неживым и живым) крайне опасны, и их нужно контролировать совершенно жестким образом. Но, с другой стороны, я не могу себе представить ситуации, когда у нас что-то возникает с нуля. Чем-то что-то всегда предшествует, поэтому, если у нас возникает знак, значит, у нас есть общение еще без знаков, с помощью нечленораздельных процессов, нерасчлененных на знаки процессов. Если у нас возникает общение с помощью нерасчлененных на знаки процессов, значит, у нас есть

какие-то процессы, которые еще незнакомые, но которые обладают какими-то качествами, необходимыми для знаковых.

**Шаров А.** Да...

**Ильин М.** ...Вот, если у нас есть такие, ну и так далее. Да, по моему, чтобы с этим разобраться, если искать вообще начало эволюции как таковой или генезиса, или, назовите это как угодно, – эмергенция. Вот если искать вот это начало, то оно, мне кажется, заключается в том, что в этом хаотическом мире существует, наряду с такими случайными процессами, и процесс, который в основном тоже случайный, но там могут быть какие-то произвольные, но повторяющиеся комбинации. Они все равно не приобретают еще никакой регулярности. Но есть какие-то детерминированные процессы. То есть у нас есть и те, и другие – это, конечно, чистые абстракции. Я думаю, что выделить их в чистом виде или наблюдать их когда-либо вряд ли можно было. Ну, предположим, что они существовали, и вот главное начинается тогда, когда у нас появляются некие пучки, какие-то более-менее синхронизованные, или идущие параллельно, или еще как-то, и детерминированных и случайных процессов. Ну, естественно, при преобладании случайных через детерминированные процессы какие-то, могут эффекты возникнуть...

**Золян С.** И я просто хочу сказать о регулярности воспроизводимости. Это, конечно, действительно для многих знаковых систем, но не для всех. Например, в случае, если вполне возможны уникальные знаки. Если взять не сосюрговскую, а пирсовскую семиотику, то там как раз возможны уникальные и невоспроизводимые знаки. И здесь не имеет смысла говорить о регулярности и воспроизводимости, но тем не менее это знак. Вот если взять иконические знаки, то большинство из них – это действительно картины. Не фотография, которую вы поставили и автоматически будете фотографировать. Это – первое.

Второе. Насчет предпосылок для семиозиса. А что значит – предпосылка? Предпосылка для семиозиса – это как раз наличие интерпретатора. То есть опять-таки, по Пирсу, если есть интерпретация, все, что может быть интерпретировано как знак, есть знак. То есть здесь возникает понятие интерпретации, которое также связано со знаком. И в данном случае интерпретация порождает предпосылки, а не наоборот, вот эти два замечания я бы хотел бы также уточнить, поскольку разные, действительно могут быть разные типы знаков и разные типы семиозиса. И здесь, кстати, мы опять-таки приходим к тому: может ли быть, так сказать, нулевой семиозис, досемиозис, протосемиозис. Или же у нас либо есть семиозис, либо его нет. То есть это отношение устанавливается либо не устанавливается. И все остальное уже оказывается вторичным, в том числе и регулярность, воспроизводимость и др.

И третье, что я хотел бы добавить. Это уже, наверное, о другом: о том, о чем Алексей говорил, может быть, больше... У Витгенштейна есть очень интересный парадокс следования правилу. Он показывает, что сле-

дование правилу предполагает неследование правилу, поскольку мы никогда не можем сказать, а почему мы следуем данному правилу, т.е., когда мы следуем правилу, само следование правилу предполагает, что было какое-то другое правило, которому я следую, но я его не знаю, и поэтому следовать правилу оказывается не следованием правилу. Вот такой парадокс, который потом и Крипке развивал не совсем понятным образом. О чем это говорит? Это говорит о том, что, когда Витгенштейн говорил, что язык – это форма жизни, он связывал это с играми. Он говорит об играх, в которых это может быть связано и с нерегулярностью следования правилам, что есть игры, в которых нет правил, и есть игры, в которых есть правила, которые отменяют предыдущие правила и которые создают неопределенность: отменять предыдущее правило или нет. Безусловно, мы можем связать это с проблемой интерпретации. Что значит интерпретация? Это значит некоторое правило, по которому я.... Ну не я, а какой-то агент или сама знаковая система предполагает, что этот знак должен быть интерпретирован... таким-то образом или иначе, но опять-таки здесь вступает дело парадокс следования по правилу, что это правило может быть отменено, и мы не можем сказать, а кто же тот, который отменяет вот это правило. Почему в одном случае я действую по правилу, а в другом нет? Почему, допустим, в одном случае я пишу жи-ши с буквой «и», а в другом случае произношу его через букву «ы»? Вот примерно такая двойственность всегда возникает. Вот это я хотел добавить к предыдущему, что было сказано.

**Ильин М.** Сурен Тигранович, очень ценные замечания. Вот особенно с Витгенштейном. Это для обществоведов просто классно! Да, всякие правила, которые меняются и так далее. Это – усложнение, потому что мы дальше можем идти еще-еще дальше, и получается у нас эти как раз обществоведческие игры, где, так сказать, все двусмысленно, крайне. Теперь... А вот меня интересуют примитивы...

**Золян С.** ...Но не только обществоведческие, я имел в виду сложное взаимодействие с контекстом.

**Ильин М.** Конечно, конечно, и искусство, и все прочее. Да, это бесспорно. Мораль и все прочее, все там сидит. Меня интересует вопрос: откуда это взялось? Надо примитив искать? Вот у меня следование правилам. Вот я хочу сопоставить просто с функцией. Существуют элементарные какие-то функции, функциональные связи. «А» зависит от «Б», условно говоря. Произошло что-то, произошло другое, а, вот где у нас функция превращается в функционирование, точнее, не функция, а сам процесс вот этого функционирования в соответствии с функцией. Где он начинает приобретать не просто функциональность? А хотя бы полезность или хотя бы... я не говорю о смысле. Хотя бы... предпочтительность? Я сейчас пользуюсь опять человеческими словами. Давайте попробуем, какие еще есть более простые слова, которые сведут это к каким-то дочеловеческим,



даже до жизненным процессам. Вот, функция же существует в физическом мире, в химическом...

**Шаров А.** Автокатализ, например...

**Ильин М.** Да, насчет автокатализа. Вот, автокатализ, мне кажется, там у нас появляется что-то такое, где появляется возможность с этим какие-то игры начать. Конечно, там никакой семиотики нет. Так сказать, в том смысле, как мы понимаем, и семиотики, нет, ничего еще нет, но предпосылки-то уже какие-то есть, их можно выстраивать. А вот, если мы хотим серьезно отнестись к расширенному эволюционному синтезу, то мы должны не только идти, как пытались до сих пор, как мы пытаемся в нашем проекте обращаться к биологии и генетике в качестве образцов и потом смотреть, как по этим образцам может что-то быть такое социальное, лингвистическое... Я не знаю, моральное и так далее, быть построенным, но и в другую сторону пойти. А каким образом? Вот это самое, так сказать, генетическое и эволюционное, как оно возникает из... химии, из физики, из квантовых каких-нибудь процессов. И когда мы весь спектр такой увидим, то тогда у нас появится гораздо больше возможностей для маневра, и это будет гораздо эвристичнее.

**Остапенко Г.** На самом деле, я, может, скажу до боли примитивную вещь, но не в том смысле слова примитив, как его употребляли Вы, но сегодняшняя дискуссия меня все больше и больше убеждает в том, что и обществоведческие, и социальные явления, и семиотика, и семиотика оперируют одними и теми же вещами, но не могут это как-то сформулировать.

Вы с Суреном Тиграновичем тоже самое говорили про, например, семиозис: либо есть семиозис, либо нет семиозиса, либо досемиозис, протосемиозис есть и т.д. Ведь тоже самое в обществе: мы оцениваем, например, ту же самую демократию. Либо она есть, либо ее нет? Ну, т.е., если не уходить в термины: градационный или дихотомический / трихотомический подход, грубо говоря. Или же какие-то фреймы. Или же практики... То есть у меня все больше складывается впечатление, что мы находимся где-то на стыке... нашего сегодняшнего общения и предыдущего опыта... с формированием какой-то, не то слово концепции, но вот какого-то подхода к формированию и в социальном мире, и в биологическом мире каких-то универсальных, повторяющихся, ну, похожим образом, ну, давайте, скажем, практик, которые ведут себя одинаково. Это не в явном виде знаки, потому что знаки – это более дробные в этом смысле вещи. Но есть какие-то шаблоны, клише, которые воспроизводятся эволюционно.

**Ильин М.** Это обычно называются модели, общие модели, схемы.

**Остапенко Г.** мне кажется, что вот там модель... сейчас модель, очень уместно... «мультимодельного фатализма», который, по сути, был... было сказано Алексеем Александровичем в ходе его выступления, когда семиозис по факту проходит на разных уровнях с учетом творческой эволюции процесса, и любой выбор влияет в своем протяжении во времени,

да, к какому-то исходу, который нам, в некотором смысле, неоднозначно решен, но в то же время предreshен... с тем, что есть цепочка событий... Да, это очень сильно. Очень и очень я доволен дискуссией, которая у нас сегодня была, очень расширяет... это ремарка была о том, что есть какие-то схемы, которые мы, на самом деле, мы реально «нащупали» уже по ходу этого разговора.

**Спиров А.** Я хотел бы спросить вот о чем. Вы упоминали «эффект Болдуина». Можно ли кратко прокомментировать то, как он может рассматриваться в контексте концепции Уоддингтона?

**Шаров А.** Эффект Болдуина [Болдуина] примерно такой. Сначала меняется поведение, которое, естественно, пока не наследуется. Но оно может изменить, например, условия жизни. Оно может копироваться потомками, т.е. там есть некие факторы, благодаря которым оно может стать более устойчивым или чаще возникать в следующих поколениях. И если это происходит, то тогда может возникнуть вот такой «автокаталитический», как бы сдвиг. То есть выход на другой «криод», по терминологии Уоддингтона. То есть поведение может стать основой нового криода.

**Спиров А.** Да, хорошо, спасибо.

**Чебанов С.** Ну, главное, что не нового, а другого криода.

**Шаров А.** Да, другого криода, да.

**Левченко В.** Я хотел бы спросить о предустановленности, потому что в первой половине доклада были ссылки на Берга и прочее. То есть, имеется некая предустановленность, эволюция. Так я понимаю... Правильно я понимаю? Так откуда она берется, во-первых, и причем тут творчество? Где творчество берется во всей этой конструкции?

**Шаров А.** Творчество берется в способности организма комбинировать свои разные возможности, которые вначале возникают как изолированные, может быть, типы поведения или изолированные структуры. Вот, организм может это все комбинировать творческим путем. Почему это не только случайная комбинация? В генетике мы привыкли к случайным комбинациям: там кроссинговер случайный, а здесь это еще может быть осмысленной комбинацией. То есть, у организма появляются привычки что-то комбинировать, а что-то не комбинировать, и организм знает, что надо комбинировать, а что нет. Поэтому выбор организмов – он более... часто оказывается правильным в смысле полезности. То есть, он чаще приводит ...

**Левченко В.** Это в смысле выживаемости? В итоге выбор организма – это что? Это выживаемость популяции, в конечном итоге?

**Шаров А.** Да, это выживаемость популяции, совершенно верно.

**Левченко В.** А предустановленность эволюции?

**Шаров А.** Что такое направленность эволюции по Бергу? Она связана как раз со способностями организма меняться физиологически и морфологически в определенных направлениях. И эти направления, в которых он меняется, они уже были тестированы как бы в предыдущей эво-

люции. На самом деле, тут есть некая, может быть, двусмысленность, потому что Берг очень не любил теорию Дарвина. И поэтому он постоянно пытался противопоставить свою теорию номогенеза, дарвиновской теории. На самом деле, это неправильно.

**Левченко В.** В защиту Берга, поскольку я неоднократно участвовал в конференциях, которые проводятся в молдавских Бендерах по поводу Берга... Думаю, что не надо говорить, что он очень не любил Дарвина..., он пытался по-своему его интерпретировать. Я бы так скорее сказал.

**Шаров А.** Да, да. Поэтому я считаю, что должен быть как раз синтез и важно показать и то, и другое, т.е., с одной стороны, существует предрасположенность организмов меняться в определенных направлениях. И это совсем не противоречит, в то же время, возможности отбора. На этих направлениях отбора, уже конкретных реализаций этого выбора. Так что и то, и другое работает.

**Левченко В.** А откуда эти направления берутся? То есть, они предустановлены, получается?

**Шаров А.** Нет, они появились в результате миллионов лет эволюции как стратегии избегания стресса, стратегии выживания в постоянно меняющихся условиях, т.е. это некие эвристики развития и поведения, которые показали себя наиболее продуктивными в смысле выживания не одного организма, а выживания видов, выживания семейств, отрядов. То есть, отбор на более высоком уровне.

**Ильин М.** Алексей Александрович и Владимир Фёдорович, я позволю себе предложить вот какой вариант. Опять с точки зрения примитивов. Вот, по-моему, совершенно замечательная книжка Дикона есть – «How Mind Emerged from Matter», или «Incomplete Nature» – «Неполная природа». Он там предлагает такой совершенный примитив, примитивнее которого ничего не может быть. Это примитив «absence». Вот есть у нас «absence». Это то, что будет заполнено. Вот отсутствие будет заполнено. Что может быть примитивнее? Является ли это предустановкой? Является. Вы можете этот принцип «absence», того, что отсутствие чего-то будет заполнено, вы можете назвать это предустановкой. Вы можете даже это чьим-то промыслом объявить. Да? На самом деле, это ничей не промысел. Это просто элементарный примитив того, что место пусто. Ну, и все прочее. Да? Теперь дальше возникает вопрос: а чем оно будет заполнено? Да, чем оно будет заполнено? Вы тоже можете говорить, что это опять чей-то замысел... Предустановка... Ничего подобного, оно будет заполнено случайными процессами. Но, маленькое дополнение: эти случайные процессы не одинаково случайны. А раз они не одинаково случайны, то начинается то, что потом будет объявлено выбором. Пока выбора никакого нет, они просто разность...

**Левченко В.** Может быть, множество путей, в таком случае...

**Ильин М.** Много путей, да. Они все случайны. Ну, потом какие-то из этих путей, какие-то, у которых обнаружилась большая вероятность, у

других меньшая и так далее. Какие-то из них становятся детерминирующими и функциональными, а потом появляется все остальное. Ну, вот очень просто. И это не является детерминизмом и, так сказать, проявлением предустановленности. Это просто нормальные вещи, в которых и детерминизм, и предустановленность – это просто такие очень грубые каузальные схемы. Но не надо заикливаться на этих грубых, каузальных схемах. Они не работают. Значит, надо искать. Точнее, они работают, если их соединить вместе, если их соединить с примитивами. Вот тогда начинается более сложная штука.

**Левченко В.** Вот, один из законов Орбели как раз заключается в том, что чем дальше происходит эволюция какого-то конкретного... ну, скажем так, вида (хотя это не очень хорошо с терминологической точки зрения), лучше – организмов какого-нибудь вида, тем уже, тем меньше у них возможностей для дальнейшего расширения. Тем меньше у них возможностей для свободы в дальнейшей эволюции. Ну, скажем, у нас появилось четыре конечности. А вот, скажем, шесть из них уже не получается, никак. Но это такой простой пример. Ну, естественно, биохимические и прочие там процессы...

**Ильин М.** Ну, это частное уже уточнение. Таких частных уточнений...

**Левченко В.** Оно чисто биологическое, оно не такое...

**Ильин М.** Отлично, биология. В биологии – это замечательный закон. Можно найти законы в социологии, в лингвистике и так далее, похожие и так далее. Их очень много. Я, например, получил тройку по введению в германистику за то, что не успел разглядеть закон Вернера. Ну, не успел я его разглядеть, хотя он, так сказать, и общеизвестный, и так далее. Мне с сожалением мой профессор, сказал: «Вы отвечали на пятерку, и я вынужден вам тройку поставить. Вы не увидели закон Вернера там, где должны были его увидеть». Ну, бывает, всякие законы возникают, но они не меняют того, что мы хотим общее найти, то, что срабатывает везде и по-разному. Понятное дело, срабатывает в виде конкретных, конкретных законов, как конкретных закономерностей.

**Шаров А.** Хочу начать свое заключительное слово с того, что мы забываем, что биологические процессы очень, очень сложные. Они гораздо сложнее физических процессов, с которым привыкли действовать физики. И, если физики спокойно, не моргнув глазом, используют слово «случайность», они имеют в виду очень конкретную случайность. Они только иногда работают с большими системами. Там число Авагадро достаточно большое, но число Авагадро меркнет по сравнению с числами – количества комбинаций, которые возникают в биологии. Стюарт Кауфман считал эти вероятности, и они оказались там на порядки выше. Значит, большинство событий, которые происходят в нашей Вселенной, они уникальны. И они никогда не повторятся в никаком обозримом будущем, если мы рассматриваем систему биологического сорта. Так, вот, давайте забу-

дем о слове «случайность» в таких ситуациях, потому что случайность из такой бесконечности, которая существенно больше числа Авагадро, она просто бессмысленна абсолютно, и вместо случайности, нужно говорить – о *возможностях*... Вот, о возможностях.

Когда мы сузим нашу область поиска к возможному, вот тогда уже мы можем применять случайность... Случайность среди тех траекторий, которые возможны. И вот здесь мы будем говорить про четыре конечности или шесть конечностей их будет. То есть выбор уже гораздо меньше становится. А говорить о глобальных случайностях – это абсолютно бессмысленная вещь, и тут мы погрязнем и никогда не выберемся оттуда. Вот поэтому физические аргументации не годятся. Здесь никакая квантовая механика не поможет, потому что квантовая механика – это тоже теория вероятности, а не теория возможностей. Существует, на самом деле, математическая теория возможностей. Я не знаю, насколько сильна эта теория. Трудно сказать, потому что она, в общем-то, сформулирована в довольно экзотических терминах, и не совсем понятно, как их применять в биологии. Но, по крайней мере, это может быть один из путей прогресса – рассматривать возможности. И вот в этом сила номогенеза Берга. То есть, он говорит, что существуют вполне определенные возможности, эволюционные возможности. А другие, все остальное можно просто игнорировать, потому что их не существует. А вот эти возможности, их не так много, их, в общем-то, можно как-то разглядеть и использовать для предсказания.

То же самое можно сказать про теорию гомологичных рядов Вавилова. Он говорит, что существуют, вот, такие возможности и их комбинации, вот это то, как эволюция идет: путем возможностей и их комбинаций. Вот комбинации могут быть случайные, но среди возможных... Вот эта оговорка, она очень важна. Вот мое основное заключение.

**Ильин М.** Спасибо, замечательное совершенно заключение. И, по-моему, у нас очень содержательное прошло обсуждение. Я только одну вещь хотел бы сказать, потому что она как-то пропала. По-моему, и Берг, и его фактический предшественник Данилевский Николай Яковлевич. (Берг прямо ссылается на то, что, когда он прочитал Данилевского, удивился, насколько, так сказать, это все созвучно). Вот эти два человека, они лучшие дарвинисты, чем все взятые, так сказать, последователи Дарвина, потому что они как раз и смогли те трудности, о которых, между прочим, Дарвин сам писал в «Происхождении видов».

Я специально не поленился, посчитал, сколько места Дарвин уделяет формулировке каких-то принципов, сколько он уделяет места экзemplификации, т.е. подтверждению того, что он сформулировал с помощью примеров, и сколько места он уделяет критике. То есть описанию того, где у него происходят нестыковки. Оказалась совершенно потрясающая вещь. Оказалось, что в разных главах по-разному. В начальных главах, у него больше все-таки подтверждений и всего прочего. А чем дальше он движется, тем у него критика нарастает. То есть, если вы серьезно читаете

«Происхождение видов», если вы его не читаете просто для сдачи экзамена по дарвинизму, по такому вот стандартному, если вы его читаете действительно, то, окажется, что это спор с самим собой, который все усиливается к самому концу книжки. Вот поэтому Дарвин, я думаю, был бы счастлив, если бы еще при его жизни все эти вещи, о которых писали и Данилевский, и Берг... (Ну, Данилевский в своем стиле слишком пылко и критическом избыточно, а Берг, так сказать, крупнее это сделал). Дарвин был бы просто счастлив, он бы их объявил своими, так сказать, любимыми учениками. Так, коллеги, давайте поблагодарим Алексея Александровича. Спасибо, Алексей, за твое замечательное выступление!

### **Discussion of Alexei Sharov's speeches**

*Abstract.* The collection includes two discussions of Alexey Sharov's speeches at the Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences. In the first discussion, the main issues were focused on the problems of general biochemical concepts of life and its evolution in the Universe, the hypothesis of the lepidic world and the semiotic prerequisites of prebiotic evolution, the scale of the formation of genomic complexity, the crystalline aspects of the origin of life, etc. were discussed. During the second discussion, the main attention was paid to semiotic agency, biosemiotic issues and semiotics in a broad sense. The issues of interpretation of signs, selection, adaptability, inheritance in the sphere of biosemiotic agency, creative evolution were touched upon.

*Keywords:* Origin and evolution of life; prebiotic evolution; semiotic agents and their types; biosemiotics; extended evolutionary synthesis; interpretation of signs; selection; adaptability; inheritance.

*For citation:* Discussion of Alexei Sharov's speeches // METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. – P. 51–78. DOI: 10.31249/metod/2023.04.04

Корнев Т.А.<sup>1</sup>, Чебанов С.В.<sup>2</sup>

Рец. на кн.: Алексея Шарова и Мортена Тёнессена  
«Семиотическая агентивность. Наука за пределами механизма.»  
*Semiotic Agency: Science beyond Mechanism* / Sharov A.,  
Tønnessen M. (Eds.). – Springer International Publishing, 2021<sup>3</sup>

**Аннотация.** В данной рецензии приведен анализ работы Шарова и Тёнессена по главам с фокусом на цели, которые ставили перед собой авторы и которые им удалось или не удалось достигнуть. Сама книга представляет собой попытку расширить семиотический анализ за пределы человеческого, вплоть до микроуровня. Авторы предлагают дополнить механистический подход биологии биосемиотическим инструментарием, создав тем самым новую науку агентологии. Благодаря этой науке, по их задумке, станет возможен семиотический анализ всех агентов, а не только людей. К достижениям Шарова и Тёнессена можно отнести разработку представления о семиотическом агенте, которое позволяет включать тело знака в разряд общесемиотических проблем. Книга также систематизирует обширный материал на стыке биологии, семиотики, феноменологии и других наук. Основные вопросы, остающиеся после прочтения книги, включают отсутствие рассмотрения филогенезов на фоне панэволюционизма, организмоцентричность предлагаемого проекта биосемиотики, расплывчатый статус феноменологии в работе и некоторые другие. В целом книгу «Семиотическая агентивность. Наука за пределами механизма» можно считать фундаментальным трудом, значительно продвигающим наше представление об агентности и семиотическом анализе.

**Ключевые слова:** агентность; биосемиотика; агентология; знаки; организмы; энвайронментализм.

**Для цитирования:** Корнев Т.А., Чебанов С.В. [Рец.] // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 79–97. Рецензия на книгу: *Semiotic Agency: Science beyond Mechanism* / A. Sharov, M. Tønnessen (Eds.). – Springer International Publishing, 2021. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.05

---

<sup>1</sup> **Корнев Тимофей Александрович**, младший научный сотрудник ИНИОН РАН, магистр политических наук НИУ ВШЭ, kornev1999@gmail.com

<sup>2</sup> **Чебанов Сергей Викторович**, доктор филологических наук, профессор кафедры математической лингвистики филологического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет, s.chebanov@gmail.com, s.chebanov@spbu.ru

<sup>3</sup> Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН).

Этот труд А. Шарова и М. Тёнессена – изложение их версии расширения семиотического анализа, традиционно применяемого к людям и их деятельности, на всех агентов (животных, микробов, органелл клеток и т.д.), понимаемых как автономные системы, сопровождаемое призывом к выходу биологии за границы механистического анализа (не стремясь избежать антропоморфизма) с помощью биосемиотического инструментария.

Алексей Шаров, соприкоснувшись с биосемиотикой как участник группы теоретической биологии  $\beta$  под руководством А.П. Левича в МГУ, принимая участие в объединенной рабочей встрече «Биология и лингвистика» в Тарту (1978) в конце 1980-х годов сделал биосемиотику одним из главных направлений своих исследований. Он провел две зимних школы по биосемиотике (Сушнёво, 1989 и 1990 гг.), продолживших школы А.П. Левича по теоретической биологии, развивая эти свои занятия и после переезда в США. С 2009 г. Шаров работает над проблемой агентности, выпустив публикации, раскрывающие различные ее аспекты: протосемиозис<sup>1</sup> [Sharov, Vehkavaara, 2015], семиогенезис и зарождение жизни [Sharov, 2016], композитные структуры [Sharov, 2017 a], коммуникация молекул [Sharov, 2017 b] и т.д. В настоящее время он сотрудник Elixigen Scientific, Baltimore в США и главный соредатор журнала Biosemiotics.

Интерес Мортена Тёнессена к вопросам агентности напрямую связан с его обеспокоенностью экологией Земли. Он следует за своим ментором Арне Нессом, считая, что экологический кризис можно преодолеть только приняв во внимание агентность человека и всех живых существ на планете. На него заметно повлияли представления об умелъте Якоба фон Иксюля, постулирующие субъективный взгляд на биологию. Его работы, связанные с агентностью, касаются ее роли в биосемиотике и энвиронментализме [Tønnessen, 2016], энвиронменталистской этике [Tønnessen, Beever, 2014], семиогенезе [Tønnessen, 2012], знаковых взаимодействиях [Sharov, Maran, Tønnessen, 2015] и т.д. Сейчас Тёнессен работает в Университете Ставангера, Норвегия, являясь секретарем Североевропейской Ассоциации семиотических исследований.

Рецензируемая книга разделена на четыре части. Первая посвящена обзору понятия агентности и его истории; вторая – чертам агентности, присущей живому; третья – теоретическому анализу понятий агентности, семиозиса, семиогенеза и естественнонаучной феноменологии; четвертая сложности агентов, определяемой как их внутренним строением, так и тем, что они образуют составные агенты. Каждая часть содержит несколько глав.

В первой главе первой части «Обзор и историография» авторы предлагают категориальный аппарат для интеграции семиотики с естественными науками, объединяя механистический и не-механистический подходы к эволюции живых автономных систем: *«Таким образом, наука о механизмах должна быть дополнена исследованиями агентности, которые изучают,*

<sup>1</sup> Здесь и далее перевод терминов и цитат Т.А. Корнева с участием С.В. Чебанова.



как творческие силы организмов расширяются в процессе эволюции» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 6]. Разработанная ими модель изучения агентности включает одновременно семиозис и механизмы, выступающие как средства его осуществления: «Необходимость не-механистического подхода проистекает из того факта, что сложные агенты получают контроль над своими механизмами» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 14].

Вторая глава посвящена истории идеи агентности в различных направлениях философии, гуманитарных и естественных наук (Аристотель, картезианство, кантианство, эволюционизм, механистический подход, семиотика, естественнонаучная феноменология, герменевтика, экзистенциализм и кибернетика). Авторы подчеркивают (сноска на с. 45), что они не рассматривают сверхъестественные агенты (такие как Бог, ангелы, духи). Это важное замечание, так как аналогичные допущения принимаются и в других изложениях истории семиотически осознаваемой биологии (напр.: [Barbieri, 2009]). На этом фоне была предложена и альтернативная точка С. Чебанова [Chebanov, 2009]. Суть различия в том, что рецензируемые авторы рассматривают появление биосемиотики и представления об агентности как *итог развития науки*, а С.В. Чебанов – как *восстановление* в науке представлений о семантике за пределами человеческой деятельности, которые были вытеснены из науки<sup>1</sup>.

В принятом авторами подходе биосемиотика преподносится как связующее звено между двумя сферами – науками о человеке и науками о жизни, объединяющее разные по эпистемологическому статусу области: «Биосемиотика предлагает новый синтез семиотики, эволюционизма, феноменологии, молекулярной биологии и кибернетики» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 48].

В открывающей вторую часть книги «Агентность в организме и за его пределами» третьей главе авторы переходят к обсуждению агентности живого, в частности человеческой. Она представляется как многоуровневая и динамичная, свойственная телу человека: «Тело человека – это иерархия органов, тканей, клеток и компонентов клеток» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 60]. Агентностью обладают человек, отождествляемый с его телом, отдельные части тела человека, группы людей и человеческие социальные институты. Кроме тела в состав человеческого агента входят когнитивный субагент (когниции<sup>2</sup>) и экологическая ниша (окружающая среда, артефакты, источники информации, социальная структура [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 61, Fig. 3.1.]). При этом специфические функции агент-

---

<sup>1</sup> Развернуто этот подход представлен в лекциях С.В. Чебанова по биосемиотике (<https://www.youtube.com/@bioherm3208/playlists>, лекции 2–5).

<sup>2</sup> Cognition – получивший распространение в когнитивистике англоязычный термин, непереводаемый на общелитературный русский язык. Весьма примечательно то, что представление о когниции восходит к Лютеру и относится к знанию сердца, которое выступает как обсуждаемый агент, что иллюстрирует нецелесообразность рассматривать агентность, исключая сверхъестественные агенты – см., напр.: [Демьянков, 2005].

ности меняются со временем: «С точки зрения семиотической агентности, жизненный цикл – это поэтапное развитие новых форм агентов с последующим их ослаблением на позднем этапе» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 66].

Четвертая глава посвящена различиям агентности человека и других живых организмов (начиная с бактерий и кончая приматами), состоящим в различии наборов семиотических компетенций (в частности, связанных с обучаемостью), которые им свойственны. Авторы обращают внимание на отсутствие систематических подходов к изучению нечеловеческой агентности и необходимость их выработки. Для этого предлагается отвергнуть антропоцентрический взгляд на агентность. При этом сравнительному рассмотрению наборов компетенций дается эволюционная интерпретация, дающая возможность утверждать, что «Эволюционная ценность человеческого сознания – дискуссионный вопрос» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 119]. Введенный таким образом исторический взгляд на агентность подводит к проблематике следующей главы.

Пятая глава посвящена попыткам реконструировать зарождение жизни, опираясь на агентный подход. Авторы отводят коэнзимообразным молекулам ключевую роль в этом процессе: «Поскольку многие коэнзимы (напр., АТФ, НАД и коэнзим-А) похожи на нуклеотиды, мы можем считать их потенциальными эволюционными предшественниками нуклеотидов РНК и ДНК» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 131]. Такие молекулы формировали самовоспроизводящиеся структуры, населяющие жировые капли. В результате специализации, кооперации и естественного отбора эти структуры могли стать первыми клетками. Производимые на основе развиваемого подхода оценки времени появления биологической жизни (около 9,7 млрд лет) значительно превышают рассчитываемый возраст Земли (4,5 млрд лет), становясь сопоставимым с возрастом Вселенной, оцениваемым в рамках  $\Lambda$ CDM-модели примерно в 14 млрд лет.

Шестая глава открывает теоретическую часть III систематическим анализом семиотической агентности, описывая черты агентов: расширенный онтологический статус, распространяющийся на прошлое и будущее; автономию, состоящую в обслуживании своих функций, самоконтроле и способности интерпретировать знаки; ориентированность на некую цель, осознаваемую или нет; сепарацию от внешнего мира и других агентов, а также взаимодействие с ними. Агенты разделены на два уровня по способности к самовоспроизведению: «Мы называем агентов с неограниченным наследуемым самовоспроизведением первичными агентами, а прочих агентов, не имеющих этой функции, – вторичными агентами» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 176]. Также показана несостоятельность идеи о несовместимости семиотической агентности с механизмами: «Биологические подходы к механизмам – на самом деле семиотические, хотя большинство биологов до сих пор этого не осознает» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 184]. В приводимой трактовке агенты очень близки к тому, что С.В. Чебановым трактуется как организм [Чебанов, 2005 а]. Так понимае-

мый организм выступает как единство тела и волны действий, причем характеристики и тела, и волны фигурируют в описаниях агентов. Однако такая трактовка лишает значения различие первичных и вторичных агентов, которые сближаются с представлением о семиотических строительных лесах (scaffolding) Е. Хоффмейера [Hoffmeyer, 2007]. С другой стороны, биологический организм (микробов, грибов, растений, животных) может рассматриваться как план выражения (точнее тело знака, его экспонент, транспарант, сигнальный референт) того, планом содержания чего является биологический смысл. В такой трактовке биологический организм – тело знака, особо гостеприимное для смысла – семантофора [Чебанов, 2005 b]. С такой точки зрения агенты – это знаки, телами которых являются семантофоры, так что значительная часть рецензируемой книги посвящена особенностям семантофоров, изучаемым биосемиотикой. При этом концентрирование внимание на семиотических агентах и особенностях их организации – это заметный вклад в развитие представлений о теле знака, которое на практике игнорируется традиционной семиотикой, относящей их изучение к области физики, химии, техники и других дисциплин. Однако, прагматика требует рассмотрения тел знаков и с чисто семиотической точки зрения, что и осуществляется в следующей главе.

В седьмой главе авторы анализируют роль знака и знаковых процессов (семиозиса) в деятельности агентов. Они проводят различие между знаками и агентами, состоящее в способности последних интерпретировать первые: *«Мы используем инструментальный подход к семиотике, где знаки – это семиотические инструменты агентов»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 194]. Таким образом раскрывается статус агентов как партиципантов тех или иных взаимодействий, на которые делится оперирование со знаками. Также авторы приводят две специфические черты семиозиса – укорененность в материальном мире и конкретная позиция в пространстве-времени, – а также два его основных уровня (с возможностью различения подуровней): механическая интерпретация сигналов (протосемиозис) и восприятие с последующим узнаванием знаков (эусемиозис): *«Структура знакового отношения зависит от семиотической компетентности агента»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 198].

Восьмая глава посвящена семиогенезу. В ней обосновывается необходимость замены геноцентричного подхода к эволюции агентоцентричным: *«Геном может меняться пассивно и случайным образом, но его интерпретация активна и ведома логикой функций организма и развитием эмбриона»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 233]. Адаптации генома понимаются как биосемиотический феномен, а ключевым свойством эволюции называется увеличение семиотической сложности. Глава содержит рассмотрение широкого спектра интереснейшего биологического материала. Однако, хоть геноцентрический, хоть агентоцентричный подходы представлены в главе организмоцентрично – обсуждается семиогенез в ходе происхождения и эволюции тех или иных организмов, в то время как ныне

более или менее очевидно, что имеет смысл обсуждать только эволюцию и происхождение биоценозов (экосистем). Подобно рассмотрению филогенеза отдельных таксонов, можно (хотя современная филоценогенетика и не оперирует с категориями биосемиотики) изучать филоценогенез биоценозов [Жерихин, 2003], причем есть основание полагать появление биологической жизни в виде биоценозов, а не популяций однородных организмов, совмещающих в себе амплуа продуцентов, консументов и редуцентов. Однако, семиогенез в биоценозах (экосистемах) авторами не обсуждается. Отсутствие такого рассмотрения представляется более значимым, чем различие геноцентрического или агентоцентрического рассмотрения организмов, что обедняет картину агентологии хотя в книге и приведены некоторые примеры взаимодействия разных семиотических систем при контакте бактерий и вирусов, очевидны такие взаимодействия в пении птиц-пересмешников или при формировании акустического ландшафта<sup>1</sup>. Однако, взаимодействие семиотических агентов на промежуточных неорганизменных (гормонов, включая тканевые, при формировании иммунного ответа, в действиях нейромедиаторов, в запаховой, акустической, зрительной коммуникации животных, в микробиомах макроорганизмов и т.д.) уровнях практически не рассматривается (в лучшем случае только упоминается), так что общая картина агентивности оказывается организмоцентричной.

Девятая глава, посвященная феноменологии, представляется наиболее дискуссионной. Дело в том, что уже на протяжении более чем столетия ведутся дискуссии о возможности соотнесения феноменологии как сферы приложения идеации («*“Феноменологическая редукция”, которую Гуссерль предлагал методически применять, включала отказ или отстранение от “всех эмпирических и психологических теорий естественных наук” при изучении специфических феноменов*» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 272]) с феноменологией как сферой эмпирического в естествознании. В связи с этим авторы полагают, что биосемиотика помогла бы устранить противоречия между философской феноменологией и натурализмом. С этой целью привлекается представление Я. фон Икскуль об умвельте [Uexküll, 1909] и предпринимается попытка дополнить феноменологию биосемиотикой: «*Вклад феноменологии в изучение сознания животных на данный момент недостаточен, неразвит и требует разработки и новых исследований в диалоге с более признанными подходами к сознанию животных*» [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 282]. Это призвано повысить объяснительную способность феноменологии, расширив понятие умвельтов на не-человеческие организмы. Однако представляется, что авторам сделать это не удастся. С одной стороны, дискуссионным является вопрос о том, в какой мере М. Хайдеггер является феноменологом (как и Н. Гартман, о котором пойдет речь далее). С другой стороны, представляется, что взгляды зрелого Хайдеггера сформировались под воздействием идей Икскуль

<sup>1</sup> См., напр.: [Князев, Иванов, Воробьева, 2000; Temporal and spatial ..., 2014].

[Chien, 2006]. Вместе с тем почему-то авторы не привлекают к обсуждению феноменологию, связанную со слоистой онтологией Н. Гартмана [Гартман, 2003.], хотя обсуждение этой проблематики с А.А. Шаровым началось еще во второй половине 1970-х годов. Поэтому вопрос о соотносимости двух пониманий феноменологии кажется открытым.

Десятая глава открывает четвертую часть книги «Агентность и сложность». Начинается она с рассмотрения численности компонентов, слагающих человеческое тело, структура которого предполагает множество субагентов и баланс между ними и тем целым, которое они составляют: *«Тело человека – это консорциум из множества биологических видов, которые связаны отношениями симбиоза, комменсализма и паразитизма»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 291]. Постулируется полу-автономность субагентов, которую они реализуют путем взаимодействия между собой и с агентом. Также описываются механизмы возникновения составных структур субагентов, т.е. самих агентов: *«Независимо от способа формирования, живой составной агент представляет собой воспроизводящий себя суперорганизм»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 305]. Примечательно, что материал этой главы относится к прокариотам и их взаимодействиям, основывается на принятии симбиогенного происхождения эукариот [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 304], распространенности симбиогенеза, обычности присутствия паразитов и симбионтов в многоклеточных организмах, причем его обсуждение ведется организмоцентрически. При этом не обсуждается источник этих симбионтов и паразитов, их образ жизни до вселения в другие организмы, отношения этих симбионтов и паразитов до внедрения в хозяина. Одним словом, не обсуждаются биоэкологические (экосистемные) агенты и симбиогенез в них (т.е. обнаруживаются пробелы, свойственные главе 8). Показателен и рис. 10.5, демонстрирующий как сложные агенты формируются из однородных простых агентов, за исключением того, что цивилизация предстает как единство разнородных агентов.

Одиннадцатая глава посвящена влиянию человеческой агентности на экологию, приводящему к появлению того, что квалифицируется как антропоцен<sup>1</sup>. Теория умвельтов используется для формулирования способов достижения экологической устойчивости, в том числе путем трансформации социальной жизни человека и его модусов взаимодействия с животными: *«С биосемиотической точки зрения это имеет смысл, поскольку изменения в отношениях между людьми и животными, как правило, влияют и на людей, и на животных, а изменения окружающей среды – динамические по своей природе»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 321]. С этой целью человеческая агентность рассматривается с различных точек зрения. Следует отметить, что это единственная глава в книге, посвященная проблемам экологии.

---

<sup>1</sup> Это геохронологическое подразделение дискутируется, в частности, оно отвергнуто совместным решением Международного союза геологических наук – МСГН; IUGS – и Международной комиссией по стратиграфии – ICS – <https://stratigraphy.org/news/152>.

При этом, однако, показательно то, что агентность в этой главе рассматривается только применительно к человеку как источнику воздействия на окружающую среду, но биоценозы (экосистемы) не рассматриваются как агенты. Соответственно, не обсуждается и семиогенез в биоценозах, хотя экосемиотика (упоминаемая по 1–2 раза в главах 3, 7, 11, 12) – устоявшийся раздел биосемиотики (напр.: [Nöth, 1998]).

В 12 и заключительной главе «Агентология: перекрестное опыление науки и философии» авторы предлагают агентологию в качестве новой дисциплины: *«Здесь мы понимаем агентологию в широком смысле как науку о семиотической агентности, включая автономию и семиотическую свободу организмов, что суть идеи, вдохновленные биосемиотикой»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 333]. Биосемиотика в ней выполняет задачу натурализации семиотики и интеграции таких дисциплин как теория информации, конструктивизм, энактивизм, эволюционная эпистемология и феноменология. Обсуждаемый в этой главе материал очень точно отражен в ее названии – перекрестное опыление, т.е. перенос некоторых идей из области в область, есть, а вот есть ли оплодотворение остается под вопросом. Примечательно, что важные для формирования концепции семиотического агента идеи были высказаны биологами и психологами в первой половине XX в. (И.П. Павлов, Я. фон Иксюлл, У. Джеймс, А.А. Ухтомский, Л.С. Выготский, Ж. Пиаже, Б. Скиннер), а философские концепции (философский конструктивизм, эволюционная эпистемология, энактивизм) получили распространение только в конце XX – начале XXI вв.

Завершают эту главу 11 суммирующих выводов [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 343–346], заслуживающих перечисления и комментирования.

1. Вводится представление об особой категории существ с расширенным онтологическим статусом (из-за петли обратной связи между существованием агента и его целями) – семиотическом агенте, действующем целенаправленно, выбирая действия и используя знаки, бытие которого является одновременно результатом прошлой целенаправленной деятельности и источником целенаправленной деятельности в будущем<sup>1</sup>, что определяет временную толщину семиотических агентов, причем агенты (исключая первичные) производятся только другими агентами и контролируют некоторые физические процессы в своих телах и в окружающей среде, а продвинутые агенты разрабатывают внутренние модели мира.

2. Представление о семиотической агентности преодолевает картезианский дуализм – существует непрерывная шкала сложности свойств агентов, что определяет не бинарный выбор между агентами и неагентами. При этом сложные агенты всегда многоуровневы и формируют субагенты

<sup>1</sup> На Семинаре по теоретической биологии (биогерменевтике) это было квалифицировано как рефлексивная причинность – см., напр.: [Дворкин, 1983; Дворкин, 1994; Чебанов, 2013; Chebanov, 1988].

меньшей сложности, причем агенты встроены в свою среду посредством воплощенного восприятия, функциональных кругов и построения ниш.

3. Действия агентов опосредованы знаками.

4. В эволюционном и функциональном плане роль знаков – обозначать, а роль агентов – интерпретировать знаки и действовать притом, что знаки могут менять деятельность агентов.

Выводы 3–4 соответствуют концепции прагматики как части современной семиотики (см., напр.: [Сусов, 2009]).

5. Семиотические агенты требуют автономии (что предполагает определенную независимость от окружающей среды благодаря предвидению и проактивности, аутопозсис, самоуправление и семиотическую свободу, самовоспроизведение, самоконтроль и целенаправленность). При этом телеология применима к любому организму, причем нементальные цели есть у всех организмов с врожденным поведением (даже у прокариот). В первом приближении этот тезис понятен, хотя некоторые используемые в нем категории требуют пояснения, что, как сформулировал А. Шаров в публичных дискуссиях должно быть делом философов, а не ученых.

6. Первыми семиотическими агентами были протоорганизмы. В эволюции простые организмы интегрировались в сложные путем размножения без разделения (объединения однородных частей) и симбиогенеза. Составные агенты прогрессировали за счет специализации субагентов и появления собственного семиотического контроля сверху. Простые агенты и субагенты нижнего уровня – это механизмы, выполняющие интерпретации нижнего уровня. Однако для изучения сложных агентов точный механизм не имеет значения.

7. *«Феноменальный опыт соответствует семиозису на уровне организма, тогда как семиозис более низкого уровня является субфеноменальным (соматическим) и лежит в основе феноменального опыта организма. Организм использует феноменальный семиозис для взаимодействия с другими организмами и окружающей средой. Феноменальный семиозис включает в себя феноменальный жизненный мир (например, умвельт), агентом которого является организм. Семиотические процессы на уровне организма специфичны для субъекта и требуют различных уровней компетентности. Хотя все организмы субъективны, поскольку являются целостными от первого лица, некоторые организмы (особенно разумные организмы) субъективны в большей степени, чем другие. Степень субъективности организма зависит от характера и сложности его семиотической организации»* [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 345].

Этот вывод приведен полностью в том виде, как он дан в книге поскольку хотя с ним можно согласиться, из-за некоторой терминологической недоопределенности он может быть квалифицирован как малосодержательный. Статус феноменального оказался недопроясненным (см. замечания к гл. 9), из-за чего нельзя согласиться или не согласиться с тем, что умвельт – это феноменальный жизненный мир. Фактически (см. разбор гл. 10) семио-

тические агенты понимаются организмоцентрически, хотя декларируется, что это могут быть единицы любого уровня. Также неясно понимание субъекта – это не субъект в юридическом или лингвистическом смысле, не картезианский субъект с его точечностью (бестелестностью), рациональностью и доверием к зрению в сочетании с механическими манипуляциями. Возможно, это индивид, личность, персона. Даже если это квазиперсональность [Чебанов, 1998], то для целей самовнушения при преодолении боли или суггестивной психотерапии она подходит больше, чем разговор об агентах или субъектах.

8. Знаковые процессы и отношения делятся на два уровня: протосемиоз и эусемиоз. В протосемиозе знаки интерпретируются как действия, а не как воспринимаемые объекты. Продвинутое знаковое отношение относится к эусемиозу, в котором знаки включают ссылки на объекты и интерпретируются как связанные с категориями объектов. Эусемиоз делится на подуровни: а) поддерживаемый наследственными привычками и б) включающий в себя познание и обучение, приобретенные представления о реальности и интенциональность. Продвинутое формы познания характеризуются использованием символов, рассуждений и языка.

9. Семиогенез – возникновение (спонтанное или чем-то вызванное) у агентов новых видов знаковых отношений.

По мнению авторов, новые знаковые отношения устанавливаются в результате деятельности агентов посредством адаптивной эволюции, развития и поведения, причем мутации не являются причиной адаптивной эволюции, а адаптации возникают вследствие физиологической и поведенческой пластичности. У когнитивных же животных и людей основным источником семиогенеза является освоение нового поведения, концепций и моделей реальности.

Выводы 8–9 не только фиксируют наличие двух уровней семиозиса, но дают им эволюционную интерпретацию, которая опять же привязывается к организменному уровню агентов.

10. Учитывая универсальность семиотической активности для всех биологических объектов (организмов, частей организмов, автономных единиц, состоящих из нескольких организмов, автономных человеческих артефактов), специфика человеческой семиотической деятельности заключается не в том, что она включает субъективность, феноменальность и самосознание, как часто думают философы, а в ее сложности, многогранности и адаптируемости. Поэтому доминирование человека привело к ускорению неустойчивых изменений, вызвавшему глобальный экологический кризис, который можно преодолеть только сознательно изменив использование нашей семиотической агентности и отношение к окружающей среде.

Первую часть этого вывода можно переформулировать так, что утверждать количественную, а не качественную специфику человека среди живых существ, а соответственно, отсутствие пропасти между человеком и животными (ср. еще К. Линней объединил в «Системе природы» человека



с обезьянами в отряд приматов). Этические и мировоззренческие последствия этого переоценить невозможно.

Вторая часть этого вывода более хитрая так как в сравнении с циклическими изменениями в пределах Галактического года (равного 225–250 млн лет) наблюдаемые биосферные изменения не выходят за пределы погрешностей. Алармистское же их восприятие порождает представление о глобальном экологическом кризисе [Каганский, 1994], разрушить которое действительно можно только изменив нашу семиотическую агентность так, чтобы она позволила вписать наблюдаемое экологическое неблагополучие в длинные циклы изменений. Так разное понимание сути кризиса приводит к одной и той же рекомендации по его преодолению – работе с нашей семиотической агентностью.

11. Биосемиотика предлагает наиболее полную платформу для изучения семиотической агентности и может служить фундаментом для агентологии – общего изучения агентности от функциональных механизмов до (супер) организмов. Благодаря междисциплинарной и эмпирической ориентации биосемиотика способствует интеграции в агентологию других концепций (теории информации, конструктивизма, эволюционной эпистемологии, энактивизма, феноменологии).

Интенция этого вывода не вызывает возражений, но акценты можно расставить при этом иначе, давая общую оценку книги.

1. Можно понимать биосемиотику в широком (включая биогерменевтику, биофилологию, биолингвистику, биопрагматлингвистику, о которых в книге почти не говорилось, и собственно биосемиотику [Чебанов, 2009; Chebanov, 1998], лекции С.В. Чебанова 10–11 (см. сноску 4)) смысле (как семиотически осознаваемую биологию [Чебанов, 2019]) и тогда возражений нет, или в узком смысле (биосемиотику как альтернативу биогерменевтики, биофилологии и т.д.), оставляющем варианты для выбора. Конечно, это выбор не из равноценного, так как биосемиотика ныне наиболее артикулирована из приводимого перечня и наиболее адаптирована к современному мейнстриму. Если же смотреть на знак как на подобие спрута [Чебанов, 2023; Metteli, 1988], то ситуация выглядит иначе.

2. Предъявленный в книге проект биосемиотики оказывается прежде всего организмоцентрическим. Это обстоятельство представляется не только фактологически-фиксирующим, но крайне методологически дискуссионным и касается материала, представленного в основном в главах 7, 8 и 10 и суммирующих выводах 6, 7 и 8.

Речь идет о проблемах принятия поуровневой организации семиотических агентов. Так, если рассматривать микробиомы человека и других макроскопических организмов, то сопоставимым с телом человека как индивида будет любая микробная клетка и тогда микробиом представляет собой биоценоз, слагаемый популяциями многих (порядка тысячи) видов микробов, причем этот микробиом образует консорциум с телом единственного экземпляра *Homo sapiens*, а также с его гельминтами, экзопарази-

тами (начиная с подкожных клещей, вызывающих при возрастании численности демодекоз) и т.д. В таком случае уровень организма, от которого отсчитывать субагентов и сложных агентов не определить: для прокариотических одноклеточных бактерий, многоклеточных бактерий типа *Beggiatoa*, одноклеточных эукариотических грибов, одноклеточных зеленых водорослей типа *Chlorella*, одиночных экземпляров цветковых растений (например, подсолнечника), бабочек или волков, колоний муравьев они несопоставимы. Аналогичные проблемы возникают с ризосферой и микоризой высших растений или при выделении субагентов. Так в книге неоднократно говорится о молекуле ДНК как агенте. Но ДНК в клетке может быть только в гидратированном состоянии, а гидратация осуществляется за счет молекул воды, несопоставимой с молекулой ДНК. В хромосоме лигандами ДНК являются молекулы белка. Соотношения уровней этих агентов неясны. То же относится к функциональной организации и неясно, кто кем управляет – макроорганизм своим микробиомом или микробиом макроорганизмом, в котором обитает. Приведенные проблемы не просто частный случай неартикулированности понимания отношения «состоять из» [Кордонский, 2001], а следствие того, что отношения «целое – часть» не сводятся к отношению геометрических объемов, а «уровни» находятся в гетероиерархических отношениях [Керимов, 1999], т.е. это не уровни, а слои, возникающие при рассмотрении кентавр-объектов [Щедровицкий, 1995]. Другие отношения ткани и рисунка в системах, нарисованных на системах [Лефевр, 1973]. Тогда макроорганизм и его микробиом, дерево и ризосфера могут меняться ролями ткани и рисунка. Поэтому принимать поуровневую организацию семиотических агентов вряд ли целесообразно.

3. Остается расплывчатым статус феноменологии.

4. На фоне подчеркивания того, что семиотические агенты (исключая первичные) происходят от других агентов [Sharov, Tønnessen, 2021, p. 172–176, 343], встает вопрос о конце существования таких агентов.

С одной стороны, в биологии мало изучены поздние (пострепродуктивные) и терминальные фазы онтогенеза. Геронтология изучая старение человека [Филатова, Безденежная, Андреева, 2009], обнаруживает возрастание на поздних стадиях онтогенеза разнообразия т.е. разнообразия людей как семиотических агентов. Артикулированы стадии умирания человека [Шор, 1925] и домашних животных – преагональное состояние, терминальная пауза, агональное состояние, клиническая смерть, биологическая смерть [Основы реаниматологии, 1975]. Затем начинаются постмортальные преобразования трупа – гипостаз, стаз, имбибиция, трупное окоченение, автолиз, гниение, мумификация, сапонификация, мацерация и т.д., причем возможно участие растений и животных в переработке трупа. При этом, неясно, на какой стадии происходит утрата семиотической агентности, тем более что в первые 20 часов сохраняются суправитальные реакции, что можно квалифицировать как автономизацию субагентов, а

участие микробиома в автолизе интерпретировать как смену ролей рисунка и ткани.

С другой стороны, можно говорить, что при голозойном питании не уничтожается агентность съеденного, а происходит ее преобразование в агентность съевшего, подобное смене ролей ткани и рисунка при автономизации микробиома после смерти макроорганизма.

Подобные вопросы о границах агентности отличаются от вопроса о границах организмности тем, что в последнем случае обязательно присутствие телесной (преформированной) компоненты, в то время как наследование семиотической агентности может быть чисто эпигенетическим.

Поставленные вопросы практически значимы при использовании лабораторных животных в острых опытах, при убое скота, эвтаназии животных и т.д., что требует обсуждения таких вопросов, как фермерская эвтаназия или поиск гуманных способов умерщвления улиток с целью употребления их в пищу [A bug's life, 2012], предполагающее учет переживания ими предсмертных состояний – т.е. критических моментов их семиотической агентности. Другой аспект обсуждаемой проблемы рассматривается в палеонтологической тафономии [Ефремов, 1950], изучающей формирование некроценоза начинается с первых постмортальных изменений трупа, когда еще могут присутствовать суправитальные реакции.

Так или иначе вопрос о конце семиотической агентности или ее бесконечности (за счет трансформаций) открыт.

5. Агентология должна быть не только эволюционной. В связи с этим показательна следующая история. Стремление А. Шлейхера дать разнообразию языков эволюционную интерпретацию, сопровождавшееся представлениями о культурно-политическом превосходстве народов, пользующихся флективными языками, закончилось на границе XIX–XX вв. интеллектуально-светским конфузом, связанным с тем, что вторичный аналитизм английского языка требовал в развиваемой эволюционной логике того, чтобы англичане отправились в услужение к носителям агглютинативных тюркских языков. Итогом этого явилось радикальное размежевание сравнительно-исторического и типологического языкознания. Формировавшаяся в то время семиотика была по строю мысли близка типологическому языкознанию.

В настоящее время историческая семиотика также отсутствует и даже нет общей сравнительной семиотики [Чебанов, 2022]. За последние полстолетия в языкознании противопоставление типологии и истории только усилилось [Мечковская, 2020; Старостин, Милитарев, 2005]. На таком фоне плодотворности различения типологических и исторических исследований 5–6 тыс. языков на протяжении 30 (40–50) тыс. лет, исследованиям семиотических агентов, относящихся к десяткам миллионов видов, существующим по оценкам авторов 9,7 млрд лет (гл. 5) сразу почему-то придается эволюционная направленность. При этом существует еще одна неиспользованную возможность – рассматривать типы семиотических агентов, привязываясь не к таксономии видов, родов, семейств и т.д., а к таксоно-

мии жизненных форм [Алеев, 1986; Миркин, Наумова, Соломеш, 2001], которая меньше завязана на эволюционизм. Это может объясняться тем, что, как было сказано А. Шаровым в его выступлениях в ИНИОН, занимаясь биосемиотикой не надо следовать тому, что сложилось в современной семиотике, включая отношение к историзму. Аналогичная ситуация сложилась и с биогерменевтикой, развивая которую А. Маркош [Markoš, 2002] считает излишним использовать громоздкий понятийный аппарат герменевтики (устное сообщение), а прямой ученик К.-О. Апеля Г. Витцани [Witzany, 2006; Witzany, 2007] именно поэтому избегает говорить о герменевтике в биологии, предпочитает называть ее трехуровневой семиотикой (устное сообщение). Однако тогда непонятно, зачем такие занятия называть биосемиотикой или биогерменевтикой, если можно заниматься знаково-жизненным, не соотнося это с семиотикой или герменевтикой, как это делали И.П. Павлов и К. Лоренц.

Всё это оставляет простор для альтернативных концепций агентности.

Завершая обзор книги, необходимо отметить замечательную работу авторов, направленную на облегчение читателю освоения ее содержания. Книга содержит описание богатого и разнообразного биологического материала, она прекрасно иллюстрирована. Каждая глава открывается аннотацией и сопровождается обширной библиографией (с многочисленными гиперссылками, предусмотренными для электронной версии книги).

В итоге можно говорить о появлении весьма значительного труда, представляющего один из возможных и подробно артикулированный взгляд на обсуждаемую тематику. Явным шагом вперед является представление о семиотическом агенте, позволяющее говорить о теле (экспоненте, транспаранте, сигнальном референте) знака как общесемиотической проблеме. Некоторые ее пробелы (главные из которых – отсутствие рассмотрения филоценогенезов на фоне панэволюционизма) являются тем отсутствующим, которое, по мысли Т. Дикона, обеспечивает развитие [Deacon, 2011].

### Список литературы

- Алеев Ю.Г. Экоморфология. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 424 с.  
Гартман Н. К основоположению онтологии. – Санкт-Петербург: Наука, 2003. – 640 с.  
Дворкин И.С. Основания рефлексивной логики // Семиодинамика: Труды семинара. – Санкт-Петербург: Изд-во Общества Ведической культуры, 1994. – С. 96–106.  
Дворкин И.С. Рефлексивно-логический подход к учению о классификации // Теория и методология биологических классификаций. – Москва: Наука, 1983. – С. 127–135.  
Демьянков В.З. Когниция и понимание текста // Вопросы когнитивной лингвистики. – 2005. – № 3. – С. 5.  
Ефремов И.А. Тафономия и геологическая летопись. – Москва: АН СССР, 1950. – 178 с.  
Жерихин В.В. Избранные труды по палеоэкологии и филоценогенетике. Москва: Т-во научных изданий КМК, 2003. – 542 с.

- Каганский В.Л. Экологический кризис: феномен культуры? // Культура в современном мире: опыт, проблемы, решения. – Москва, 1994. – № 6. – С. 1–16.
- Керимов Т.Х. Социальная гетерология. – Екатеринбург: УралНаука, 1999. – 256 с.
- Князев А.Н., Иванов В.П., Воробьева О.Н. Взаимодействие дистантных механорецепторных систем в условиях предъявления внутривидовых звуковых сигналов нормальным и аллатэктомированным самцам сверчков *Gryllus bimaculatus* // Журн. эволюц. биохимии и физиол., 2000. – № 36 (6). – С. 581–585.
- Кордонский С.Г. Циклы деятельности и идеальные объекты. – Москва: Пантори, 2001. – 176 с. – Гл. 3.
- Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. – Москва: Советское радио, 1973. – 158 с.
- Мечковская Н.Б. Общее языкознание: структурная и социальная типология языков. – Москва: Флинта, 2020. – 312 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. – Москва: Логос, 2001. – 264 с.
- Основы реаниматологии / под ред. В.А. Неговского. – Москва: Медицина, 1975. – 360 с.
- Старостин С.А., Милитарев А.Ю. О древе языков (обзор мнений). – 2005. – URL: <https://web.archive.org/web/20070311205831/http://www.fund-intent.ru/science/scns023.shtml>
- Сусов И.П. Лингвистическая прагматика. – Винница: Нова Книга, 2009. – 272 с.
- Филатова С.А., Безденежная Л.П., Андреева Л.С. Геронтология. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 510 с.
- Чебанов С. Соотношение сравнительной и эволюционной семиотики: почему первая должна предшествовать второй // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин: ежеквартал. науч. изд. / под ред. М.В. Ильина; ИНИОН, РАН, Центр перспект. методологий соц.-гуманит. исследований. – Москва, 2022. – Вып. 12, Т. 2, № 3. – С. 110–189.
- Чебанов С.В. Герменевтические аспекты энлога как квазиперсонального взаимодействия // Прикладная и структурная лингвистика. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 1998. – Вып. 5. – С. 19–40.
- Чебанов С.В. Биосемиотика и биогерменевтика // Науки о жизни и образовании. Фундаментальные проблемы интеграции. – Москва: МГУ, 2009. – С. 340–344.
- Чебанов С.В. Знак как фантастический спрут // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин: ежеквартал. науч. изд. / РАН, ИНИОН, Центр перспект. методологий социал. и гуманит. исслед. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 2. – С. 7–13.
- Чебанов С.В. Интерпретация тела и постижение жизни // Логос живого и герменевтика телесности. – Москва: Академический проект, 2005 а. – С. 339–406.
- Чебанов С.В. На пути к семиотически осознаваемой биологии: Биосемиотика замещает синтетическую теорию эволюции // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин: Методологические аспекты трансдисциплинарного трансфера знаний. – Москва: ИНИОН РАН, 2019. – Вып. 9 / ред. М. Ильин. – С. 151–173.
- Чебанов С.В. Семантофоры: взгляд биосемиотики и прагмалингвистики // Научные чтения – 2004. Материалы конференции. – Санкт-Петербург: Филологический ф-т СПбГУ, 2005 б. – С. 243–252.
- Чебанов С.В. Теоретическая биология в биоцентризме: замысел и реализация // Холизм и здоровье. – 2013. – № 1(8). – С. 3–17.
- Шор Г.В. О смерти человека (Введение в танатологию). – Ленинград: КУБУЧ, 1925. – 272 с.
- Щедровицкий Г.П. Естественное и искусственное в социотехнических системах // Щедровицкий Г.П. Избранные труды. – Москва, 1995. – С. 437–448.
- A bug's life: Large-scale insect rearing in relation to animal welfare (PDF). Project 1052 'Large-scale insect rearing in relation to animal welfare' / Erens J., Es van S., Haverkort F., Kap-somenou E., Luijben A. – Wageningen University, 2012. – 57 p.

- Barbieri M. A Short History of Biosemiotics. *Biosemiotics*. – 2009. – N 2. – P. 221–245.
- Chebanov S.V. Biosemiotics: History, Prehistory, Parallel History // 10 th World Congress of Semiotics. Abstracts. – Coruña: Universidade De A Coruña, 2009. – не найдено.
- Chebanov S.V. The Role of Hermeneutics In Biology // *Sociobiology And Bioeconomics. The Theory Of Evolution In Biological And Economic Theory* / Peter Koslowski (ed.). – Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1998. – P. 141–172 (=3 d Studies In Economic Ethics And Philosophy; Vol. 20).
- Chebanov S.V. Theoretical biology in biocentrism // *Lectures in Theoretical Biology*. – Tallinn: Valgus, 1988. – P. 159–167.
- Chien Jui-Pi. Of animals and men: A study of umwelt in Uexküll, Cassirer, and Heidegger // *Concentric: Literary and Cultural Studies*. – 2006. – № 32 (1). – P. 57–79.
- Deacon T.W. *Incomplete nature: How mind emerged from matter*. – New York; London: W.W. Norton & Company, 2011. – 625 p.
- Hoffmeyer J. Semiotic scaffolding of living systems // M. Barbieri (Ed.). *Introduction to biosemiotics*. – Dordrecht: Springer, 2007. – P. 149–166.
- Markoš A. *Readers of the Book of Life: Contextualizing Developmental Evolutionary Biology*. – Oxford: Oxford University Press, 2002. – 256 p.
- Merrell F. An Uncertain Semiotic // *The Current in Criticism: Essays on the Present and Future of Literary Theory*. – 1988. – P. 243–264.
- Nöth W. Ecosemiotics // *Sign Systems Studies*. – 1998. – Iss. 26. – P. 332–343.
- Sharov A.A. Composite agency: Semiotics of modularity and guiding interactions // *Biosemiotics*. – 2017. – № 10 (2). – P. 157–178.
- Sharov A.A. Molecular biocommunication // *Biocommunication. Sign-mediated interactions between cells and organisms* / R. Gordon, J. Seckbach (Eds.). – World Scientific, 2017. – P. 3–35.
- Sharov A.A. Coenzyme world model of the origin of life // *Biosystems*, 2016. – № 144. – P. 8–17.
- Sharov A.A., Vehkavaara T. Protosemiosis: Agency with reduced representation capacity // *Biosemiotics*. – 2015. – № 8(1). – P. 103–123.
- Sharov A.A., Maran T., Tønnessen M. Organisms reshape sign relations // *Biosemiotics*. – 2015. – № 8(3). – P. 361–365.
- Sharov A., Tønnessen M. Semiotic Agency // *Biosemiotics*. – Springer, 2021. – Vol. 25. – P. 172–176, 343.
- Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest // *Ecological Informatics* / Rodriguez A., Gasc A., Pavoine S., Grandcolas P., Gaucher P., Sueur J. – 2014. – T. 21. – C. 133–143.
- Tønnessen M. Semiogenesis // *A more developed sign. Interpreting the work of Jesper Hoffmeyer* / D. Favareau, P. Copley, K. Kull (Eds.). – Tartu: Tartu University Press, 2012. – P. 247–249.
- Tønnessen M. Agency in biosemiotics and enactivism // *Meaning, mind and communication. Explorations in cognitive semiotics* / J. Zlatev, G. Sonesson, P. Konderak (Eds.). – Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, 2016. – P. 69–82.
- Tønnessen M., Beever J. Beyond sentience: Biosemiotics as foundation for animal and environmental ethics // *Animal ethics and philosophy: Questioning the orthodoxy* / J. Hadley, E. Aaltola (Eds.). – Rowman & Littlefield International, 2014. – P. 47–62.
- Uexküll von J. *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. – Berlin: Verlag von Julius Springer, 1909. – 259 S.
- Witzany G. *The Logos of the Bios 1: Contribution to the Foundation of a Three-Leveled Biosemiotics*. – Helsinki: Umweb, 2006. – 220 p.
- Witzany G. *The Logos of the Bios 2: Bio-Communication*. – Vilnius: Umweb, 2007. – 230 p.
- Zherikhin V.V. Phylogenesis and phylocenogenesis // *Evolution of the Biosphere* / Rec. Queen Victoria Mus. & Art Gallery. – 1997. – N 104. – P. 57–63.

Kornev T.A.<sup>1</sup>, Chebanov S.V.<sup>2</sup>  
Review of the book  
«Semiotic Agency. Science beyond Mechanism»  
by Alexey Sharov and Morten Tønnessen

*Abstract.* The present review provides a chapter-by-chapter analysis of Sharov and Tønnessen's work with a focus on the goals that the authors set for themselves and which they succeeded or failed to achieve. The book itself is an attempt to extend semiotic analysis beyond the human, down to the micro level. The authors propose to supplement the mechanistic approach of biology with biosemiotic tools, thereby creating a new science of agentology. Through this science, according to their idea, a semiotic analysis of all agents, not just people, will become possible.

Sharov and Tønnessen's achievements include the development of the concept of a semiotic agent, which allows the body of a sign to be included in the category of general semiotic problems. The book also systematizes extensive material at the intersection of biology, semiotics, phenomenology and other sciences.

The main questions remaining after reading the book include the lack of consideration of phylogenesis against the backdrop of panevolutionism, the organism-centric nature of the proposed project of biosemiotics, the vague status of phenomenology in the work, and several others.

In general, the book «Semiotic agency. Science Beyond Mechanism» can be considered a fundamental work that significantly advances our understanding of agency and semiotic analysis.

*Keywords:* agency; biosemiotics; agentology; signs; organisms; environmentalism.

*For citation:* Kornev T.A., Chebanov S.V. (2023). Review of the book «Semiotic Agency. Science beyond Mechanism» by Alexey Sharov and Morten Tønnessen. METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4, P. 79–97. DOI: 10.31249/metod/2023.04.05

## References

- Aleev Y.G. (1986). Ecomorphology. Kiev: Nauk. Dumka.  
Barbieri, M. (2009). A Short History of Biosemiotics. Biosemiotics, 2, 221–245.  
Chebanov S.V. (1988). Theoretical biology in biocentrism // Lectures in Theoretical Biology. Tallinn, "Valgus".  
Chebanov S.V. (1998). Hermeneutic aspects of the enlogue as a quasi-personal interaction. Prikladnaya i strukturnaya lingvistika, 5, 19–40. SPb, SPbGU.  
Chebanov S.V. (1998). The Role of Hermeneutics in Biology // Peter Koslowski (ed.): Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution in Biological and Economic Theory, Berlin, Heidelberg, New York (Springer), Pp. 141–172 (=3 d Studies In Economic Ethics and Philosophy, Vol. 20).  
Chebanov S.V. (2005 a). Interpretaciya tela i postizhenie zhizni. Logos zhivogo i germeneytika telesnosti. M., Akademicheskij proekt, 339–406.  
Chebanov S.V. (2005 b). Semantophores: a view of biosemiotics and pragmalin-guistics. Nauchnye chteniya. Materialy konferencii. SPb, Filologicheskij f-t SPbGU, 243–252.  
Chebanov S.V. (2009). Biosemiotics: History, Prehistory, Parallel History // 10 th World Congress Of Semiotics. Abstracts. A Coruña. Universidade De A Coruña.

---

<sup>1</sup> **Timofey Kornev**, Junior research fellow, INION RAN; Political science MA, NRU HSE; kornev1999@gmail.com

<sup>2</sup> **Sergey Chebanov**, St. Petersburg State University; s.chebanov@gmail.com, s.chebanov@spbu.ru

- Chebanov S.V. (2009). Biosemiotika i biogermenevtika. Nauki o zhizni i obrazovanie. Fundamental'nye problemy integracii. M., MGU, 340–344.
- Chebanov S.V. (2013). Theoretical biology into biocentrism: intention and implementation. Holizm i zdorov'e, 1(8), 3–17.
- Chebanov S.V. (2019). Na puti k semioticheski osoznaemoj biologii: Biosemiotika zameshchaet sinteticheskuyu teoriyu evolyucii. METHOD: Moscow Quarterly Journal of Social Studies, 9, 151–173.
- Chebanov S.V. (2022). Relation between comparative and evolutionary semiotics: why should the first one precede the second one. METHOD: Moscow Quarterly Journal of Social Studies, 2 (3), 110–189. DOI: 10.31249/metodquarterly/02.03.07
- Chebanov S.V. (2023). Sign as a fantastical octopus. METHOD: Moscow Quarterly Journal of Social Studies, 3(2): 7–13.
- Chien Jui-Pi. (2006). Of animals and men: A study of Umwelt in Uexküll, Cassirer, and Heidegger // Concentric: Literary and Cultural Studies, 32(1): 57–79.
- Deacon T.W. (2011). Incomplete nature: How mind emerged from matter. New York; London: W.W. Norton & Company.
- Dem'yankov V.Z. (2005). Cognition and comprehension of the text. Voprosy kognitivnoj lingvistiki, 3(5).
- Dvorkin I.S. (1983). Refleksivno-logicheskij podhod k ucheniyu o klassifikacii. Teoriya i metodologiya biologicheskikh klassifikacij. M.: Nauka, 127–135.
- Dvorkin I.S. (1994). Osnovaniya refleksivnoj logiki. Semiodinamika: Trudy seminar. SPb., Izd-vo Obshchestva Vedicheskoy kul'tury, 96–106.
- Efremov I.A. (1950). Tafonomiya i geologicheskaya letopis'. M.: AN SSSR.
- Erens J., Es van S., Haverkort F., Kapsomenou E., Luijben A. (2012). A bug's life: Large-scale insect rearing in relation to animal welfare (PDF). Project 1052 'Large-scale insect rearing in relation to animal welfare'. Wageningen University.
- Filatova S.A., Bezdenezhnaya L.P., Andreeva L.S. (2009). Gerontology. Rostov on Don: Feniks.
- Hartmann N. (2003). Ontology: Laying the Foundations. SPb.: Nauka.
- Hoffmeyer J. (2007). Semiotic scaffolding of living systems // M. Barbieri (Ed.). Introduction to biosemiotics. Dordrecht: Springer, pp. 149–166.
- Kaganskij V.L. (1994). Ekologicheskij krizis: fenomen kul'tury?. Kul'tura v sovremennom mire: opyt, problemy, resheniya. M., 6, 1–16.
- Kerimov T.H. (1999). Social'naya geterologiya. Ekaterinburg: UralNauka.
- Knyazev A.N., Ivanov V.P., Vorob'eva O.N. (2000). Interaction of distant mechanoreceptor systems in conditions of presentation of intraspecies sound signals to normal and allatectomized male Gryllus bimaculatus crickets. Zhurn. evolyuc. biohimii i fiziol, 36(6): 581–585.
- Kordonskij S.G. (2001). Cycles of activity and ideal objects. M.: Pantori.
- Lefevr V.A. (1973). Konfliktuyushchie struktury. M.: Izd-vo «Sovetskoe radio».
- Markoš A. (2002). Readers of the Book of Life: Contextualizing Developmental Evolutionary Biology. Oxford: Oxford University Press.
- Mechkovskaya N.B. (2020). General linguistics. Structural and social typology of languages. M.: Flinta.
- Merrell F. (1988). An Uncertain Semiotic // The Current in Criticism: Essays on the Present and Future of Literary Theory.
- Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. (2001). Modern Vegetation Science. M.: Logos.
- Nöth W. (1998). Ecosemiotics // Sign Systems Studies, 26, pp. 332–343.
- Osnovy reanimatologii (V.A. Negovsky, ed.). (1975). M.: «Medicina».
- Rodriguez, A., Gasc, A., Pavoine, S., Grandcolas, P., Gaucher, P., & Sueur, J. (2014). Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest // Ecological Informatics, 21, 133–143.
- Sharov, A. (2016). Coenzyme world model of the origin of life. Biosystems, 144, 8–17.



- Sharov, A. (2017 a). Composite agency: Semiotics of modularity and guiding interactions. *Bio-semiotics*, 10(2), 157–178.
- Sharov, A. (2017 b). Molecular biocommunication. In R. Gordon & J. Seckbach (Eds.), *Biocommunication. Sign-mediated interactions between cells and organisms* (pp. 3–35). World Scientific.
- Sharov, A., & Vehkavaara, T. (2015). Protosemiosis: Agency with reduced representation capacity. *Biosemiotics*, 8(1), 103–123.
- Sharov, A., Maran, T., & Tønnessen, M. (2015). Organisms reshape sign relations. *Biosemiotics*, 8(3), 361–365.
- Sharov, A., Tønnessen, M. (2021). *Semiotic Agency*. *Biosemiotics*, vol 25. Springer.
- Sharov, A., Tønnessen, M. (2021). *Semiotic Agency*. *Biosemiotics*, vol 25. Springer. Pp. 172–176, 343.
- Shchedrovickij G.P. (1995). *Estestvennoe i iskusstvennoe v sociotekhnicheskikh sistemah*. In: Shchedrovickij G.P. *Izbrannye trudy*. M.
- Shor G.V. (1925). *O smerti cheloveka (Vvedenie v tanatologiyu)*. L., Izd-vo KUBUCH.
- Starostin S.A., Militarev A.Y. (2005). *O drevne yazykov (obzor mnenij)* – <https://web.archive.org/web/20070311205831/http://www.fund-intent.ru/science/scns023.shtml>
- Susov I.P. (2009). *Linguistic pragmatics*. Vinnica, Nova Knyga.
- Tønnessen, M. (2012). SemioGenesis. In D. Favareau, P. Cobley, & K. Kull (Eds.), *A more developed sign. Interpreting the work of Jesper Hoffmeyer* (pp. 247–249). Tartu University Press.
- Tønnessen, M. (2016). Agency in biosemiotics and enactivism. In J. Zlatev, G. Sonesson, & P. Konderak (Eds.), *Meaning, mind and communication. Explorations in cognitive semiotics* (pp. 69–82). Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften.
- Tønnessen, M., & Beever, J. (2014). Beyond sentience: Biosemiotics as foundation for animal and environmental ethics. In J. Hadley & E. Aaltola (Eds.), *Animal ethics and philosophy: Questioning the orthodoxy* (pp. 47–62). Rowman & Littlefield International.
- Uexküll von J. (1909). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. Berlin. Verlag von Julius Springer. 1909.
- Uhtomskij A. (2000). *Dominanta dushi. Iz gumanitarnogo naslediya*. Rybinsk: Rybinskoe podvor'e.
- Uhtomskij A.A. (2002). *Dominanta*. SPB.: Piter.
- Witzany G. (2006). *The Logos of the Bios 1: Contribution to the Foundation of a Three-Leveled Biosemiotics*. Helsinki: Umweb.
- Witzany G. (2007). *The Logos of the Bios 2: Bio-Communication*. Vilnius: Umweb.
- Zherikhin V.V. (2003). *Izbrannye trudy po paleoekologii i filocenogenetike*. M.: T-vo nauchnyh izdanij KMK.
- Zherikhin V.V. (1997). Phylogenesis and phylogenogenesis. Evolution of the Biosphere. In: *Rec. Queen Victoria Mus. & Art Gallery*, 104, 57–63.

Спиров А.В.<sup>1</sup>

**Языки регуляции генов на примере  
сигнальных элементов промоторов<sup>2</sup>**

*Аннотация.* Промоторы относятся к самым древним составляющим регуляторной части генов, без промотора ген нефункционален. Промоторы составлены из некоторого набора консервативных сигнальных последовательностей – мотивов, часто называемых сигналами промотора (последовательности же между сигналами трактуются как случайные). Промоторы эукариот разделяются на несколько типов архитектуры, так что каждый тип имеет тенденцию придерживаться своей структурно-функциональной организации: разные наборы сигналов расположены согласно своим (грамматическим) правилам. Разные архитектуры соответствуют разным сценариям функционирования соответствующих генов – различные семейства конститутивных генов и генов эмбриогенеза. Сигналы промоторов опознаются компонентами комплекса транскрипции и определяют некоторые важные характеристики процесса транскрипции гена. Сигналы промоторов подчиняются определенным наборам грамматических правил, так что согласно этим правилам их можно искать в неохарактеризованных последовательностях ДНК средствами биоинформатики. В статье мы сосредоточимся именно на данных, позволяющих трактовать промоторы как набор инструкций по деталям активности РНК-полимеразного комплекса при транскрипции соответствующих генов. В итоге мы приходим к заключению, что эволюция промоторов выражается в усложнении и диверсификации языка промоторов. Если у прокариот эволюция промоторов может быть охарактеризована как усложнение единственной базовой организации, базового набора сигнальных элементов, то у эукариот охарактеризовано множество классов промоторов с существенно различающимися базовыми организациями. Эволюция промоторов эукариот, как полагают, движима усложнением генной регуляторики вследствие многоклеточности и эмбрионального развития.

*Ключевые слова:* регуляция генов; регуляторные модули генов; регуляторные элементы; языки регуляции генов; словари языков регуляции; грамматика языков регуляции.

*Для цитирования:* Спиров А.В. Языки регуляции генов на примере сигнальных элементов промоторов // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 98–129. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.06

---

<sup>1</sup> Спиров Александр Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИНИОН РАН, alexander.spirov55@gmail.com

<sup>2</sup> Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН).

## **Введение**

Промотор – один из базовых и древнейших составляющих гена [Shen, 2019; Brázda, Bartas, Bowater, 2021]. Он есть у всех генов, и без него транскрипция гена невозможна. Если кодирующая часть гена несет информацию о первичной последовательности белка (триплетным кодом), то промотор включает набор сайтов связывания для различных транскрипционных факторов, включая составляющие РНК-полимеразы. Поэтому промотор можно интерпретировать, во-первых, как «платформу» сборки преинициального комплекса (PIC), а во-вторых, как базовый набор инструкций для последующих стадий транскрипции. Более того, промотор может включать сайты связывания для активаторов и репрессоров данного гена, тем самым обеспечивая вовлеченность гена в генно-регуляторную сеть.

Если интерпретировать промотор как запись инструкций для машины транскрипции, то в этом аспекте есть основания говорить о словаре сигналов промоторов и грамматике этих сигналов [Weingarten-Gabbay, Segal, 2014; Base-resolution models of transcription-factor, 2021; Lal, 2022; TF-COMB – Discovering, 2022]. Обозреваемые здесь детали функциональной организации промоторов из последовательностей облигатных и дополнительных «слов»-мотивов подводят к фундаментальной проблеме грамматики регуляции транскрипции.

В то же время именно грамматика базовых промоторов, которая хорошо изучена (при том что сами базовые промоторы имеют не слишком сложную функциональную организацию), должна оставаться той темой, с которой естественно начинать масштабное изучение грамматики энхансеров [Transcription imparts architecture, 2020; Andersson, Sandelin, 2020; Jindal, Farley, 2021].

### **1) Эволюция промоторов**

Прежде всего, с эволюционных позиций естественно разделить промоторы по их положению на эволюционной лестнице, как на рисунке 1 [Brázda, Bartas, Bowater, 2021]. Простая организация промотора и единообразие элементов у архей, по-видимому, контрастируют как с бактериальными, так и с эукариотическими промоторами. Детали мотивов для ядерных организмов-эукариот приведены в таблице 1.

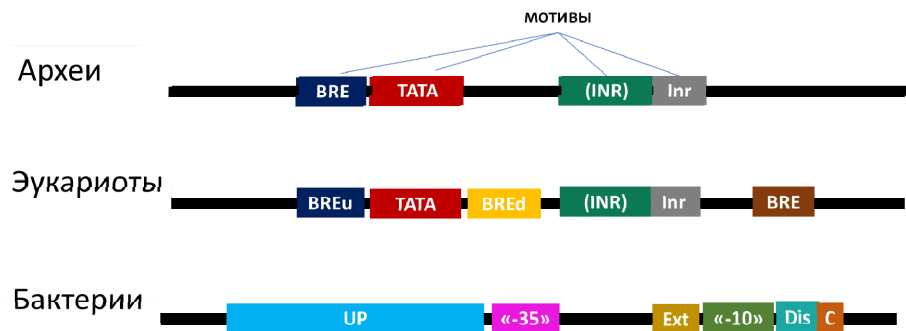


Рис. 1.  
Мотивы («слова») промоторов у архей, бактерий и эукариот.

Базовый промотор архей организован наиболее просто: имеется три часто встречающихся эволюционно древних мотива, именуемые BRE, TATA-бокс и Inr (будут охарактеризованы в соответствующем подразделе) [Wenck, Santangelo, 2020]. Базовые промоторы бактерий имеют до семи типичных мотивов (как UP, «-35», Ext, «-10», Disc) и могут включать мотивы для активаторов и репрессоров [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015; Andersson, Sandelin, 2020], так что словарный запас здесь шире. Разные мотивы передают разные инструкции. Случай промоторов бактерий – это промоторы, высокоспециализированные под функции бактериальной клетки, но они демонстрируют некоторые тенденции в развитии структурно-функциональных характеристик [Determinants of the C-Terminal, 2002; Kinkhabwala, Guet, 2008], достигающие своего многообразия в случае эукариот. Разнообразие промоторов эукариот и более широкий словарь – это следствие многоклеточности и индивидуального развития [The Core Promoter Is a Regulatory, 2021; Drosophila core promoter function, 2022]. Для разных семейств эукариотных промоторов характерны различающиеся наборы мотивов. Наряду с базовым набором охарактеризованных мотивов потенциально новые сигнальные последовательности продолжают выявлять биоинформационными и экспериментальными подходами [RegulonDB version 9.0.; 2016].

## 2) Словари языка промоторов

Исследователи выделяют непосредственные окрестности сайта старта транскрипции с типично присутствующими здесь мотивами-сигналами как *базовый (core) промотор*. Мы будем именовать его базовым, или коровым, промотором (рис. 1). Промотор, у которого есть только базовые эле-

менты, способен инициировать и поддерживать транскрипцию своего гена, но с не слишком большой эффективностью (обычно это слабый промотор), поэтому он и называется базовым. Для усиления промотора требуются более дистальные элементы. In vivo скорость инициации варьирует по меньшей мере в 10 тыс. раз для разных промоторов [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015].

## 2.1. Консенсусные последовательности и их логотипы

Каждое слово-сигнал промотора имеет «идеальную» консенсусную последовательность (например, TTGACA для бактериального элемента «-35») [Shultzaberger, 2007], но у конкретных генов данная сигнальная последовательность обычно несколько отличается от идеальной, а и иногда достаточно сильно, что называется вырожденностью. Чем ближе «написания» слов данного промотора к консенсусному, тем более эффективно ген будет работать (транскрибироваться РНК-полимеразой) при прочих равных условиях.

Слово языка промотора описывают «логотипом последовательности», лого ([Anatomy of Escherichia colisigma70 promoters, 2007], рис. 2).

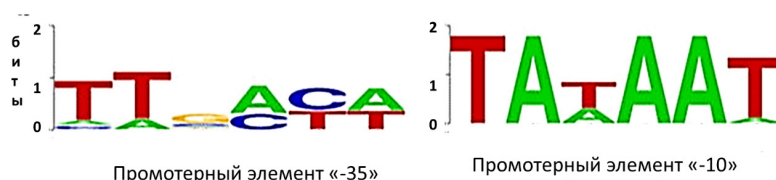


Рис. 2.  
Примеры логотипов бактериальных облигатных  
промоторных элементов «-10» и «-35».

Логотипы содержат несколько разных типов информации (см. рис. 2). Во-первых, на каждой позиции основания ранжированы согласно их представленности (наиболее часто встречающееся основание изображено на вершине стопки символов-букв). Поэтому общий консенсус можно прочесть по верхнему ряду букв каждой позиции. Относительный размер символа каждого из четырех оснований показывает относительную частоту встречаемости каждого нуклеотида на этой позиции. Высота всего набора символов пропорциональна информации, которую несет эта колонка выравнивания. Поэтому наиболее важные позиции легко выделить визуально.

## 2.2. Словари промоторов

Как отмечалось выше, словарный запас языка промоторов архей достаточно беден (рис. 1) [Wenck, Santangelo, 2020]. Однако имеются основания считать, что этот базовый набор – прародитель эукариотного промоторного языка [Brázda, Bartas, Bowater, 2021]. Базовый промотор бактерий достаточно консервативен, отличается и от архейного, и от эукариотных промоторов (рис. 1). В составе базового промотора бактерий и непосредственно рядом с ним могут находиться сайты связывания регуляторов транскрипции (активаторов и репрессоров). Поэтому общее число мотивов в бактериальном промоторе может быть больше.

По сравнению с археями и бактериями разнообразие эукариотных промоторов впечатляет, так что охарактеризованных мотивов с выявленными консенсусами – несколько десятков (табл. 1; [Haberle, Stark, 2018; Drosophila core promoter function, 2022]).

Таблица 1

### Известные мотивы (базовых) промоторов эукариот и транскрипционные факторы, которые с ними специфически связываются (вместе с их типичными позициями)

Название элемента	Консенсус элемента и типичная позиция	Распознается и связывается	Примечания
1	2	3	4
BREu, FIIB recognition element	SSRCGCC –38 to –32	TFIIB	
TATA box	TATAWAWR	субъединицей TBP комплекса TFIID	Самый древний элемент; отсутствует в большинстве эукариотных промоторов
BREd, TFIIB recognition element	RTDKKKK –23 to –17	TFIIB	
Inr, initiator	YYANWYY (hum) –3 to +3 TCAGTY (Dros) –5 to –2	TAF1/TAF2	Наличие Inr требует также MTE
Inr2	–60 to 20		
Inr2 rev	–100 to –2		
MTE, motif ten element	CSARCSSAAC	субъединицей TAF6 комплекса TFIID	Пара Inr + MTE функционирует независимо от блока TATA и DPE
DPE, downstream promoter element	RGWYVT (Dros) +28 to +33	субъединицей TAF9 комплекса TFIID	
DCE (I,II,III), downstream core element	CTTC +6 to +11 CTGT f +16 to +21 AGC f +30 to +34	TAF1	
Ohler 1	YGGTCACACTR –60 to –1	M1 BP	Не выявлена специфичность положения относительно сайта старта транскрипции
Ohler 6	KTYRGATWTTT –100 to –1	Нет данных	
Ohler 7	KNNCAKCNCTRNY –60 to +20	Нет данных	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
TCT, polypyrimidine initiator	YYCTTTY -2 to +6	Нет данных	
DNA replication- related element, DRE	WATCGATW -100 to -1	DREF	Не выявлена специфичность положения относительно сайта старта транскрипции
XCPE1, X core- promoter element 1	DSGYGGRASM -8 to +2	Нет данных	
XCPE2, X core- promoter element 2	VCYCRTTRCMY -9 to +2	Нет данных	
Pause button	KCGRWCG +25 to +35	Нет данных	
GAGA	-100 to -33	Нет данных	
GAGArev	-100 to 1	Нет данных	
E-box 1	-59 to 32	Нет данных	
E-box 2	-22 to 40	Нет данных	
CGpal	-100 to -20	Нет данных	
TTGTT	-32 to 40	Нет данных	
TTGTTrev	-14 to 38	Нет данных	
AAG3	-57 to 38	Нет данных	
ATGAA	-5 to 39	Нет данных	

B = C or G or T; D = A or G or T; K = G or T; M = A or C; R = A or G; S = C or G; V = A or C or G;  
W = A or T; Y = C or T

Надо иметь в виду, что такое многообразие, а также большое количество лабораторий, работающих в этой области, как и большое количество независимых публикаций, обуславливает меньшую определенность во многих деталях большинства эукариотных сигналов.

### 2.3. Промоторные сигналы как слова

Впечатляющий прогресс биоинформатики вместе с необходимостью обрабатывать (распознавать и аннотировать) все возрастающее количество данных по первичным последовательностям ДНК (включая геномные) выдвигает понятия грамматики ДНК-текстов как некие обобщения в своих собственных правах [Weingarten-Gabbay, Segal, 2014; Base-resolution models of transcription-factor binding, 2021; Lal, 2022; TF-COMB – Discovering grammar of transcription factor, 2022]. Иначе говоря, имеется грамматика человеческих языков, как и имеются (в своем становлении) грамматики ДНК-текстов.

Консенсусы облигатных бактериальных сигналов «-10» (ТАТТААТ) и «-35» (TTGACA) создают обманчивое впечатление чрезвычайно высокой консервативности этих сиквенсов. Вместе с тем лого бактериальных сигналов «-10» и «-35», полученное разными авторами, демонстрирует их немалую вариабельность, как и зависимость от вида и от конкретных сигма-факторов (которых у каждой бактерии несколько). Так что в экспери-

ментах сигма-факторы способны связываться и инициировать транскрипцию на весьма разнообразных сиквенсах, лишь отдаленно напоминающих консенсусы.

У эукариот вариабельность мотивов еще более впечатляющая. С целью детальнее проиллюстрировать вышесказанное остановимся на некоторых репрезентативных примерах многообразия «написания» некоторых слов промоторов. Начнем со знаменитого ТАТА-бокса [Haberle, Stark, 2018; Drosophila core promoter function, 2022], как в таблице 2. Даже в случае этого, наверное, самого изученного сигнала, типичные проблемы определения деталей консенсуса и пределов его варьирования остаются открытыми. Лого способен представить только наиболее часто встречающиеся варианты. Кроме того, типично трудно однозначно определить, где начинается и где кончается мотив. Из таблицы ниже хорошо видно, что самых массовых версий ТАТА-бокса всего четыре и первые четыре «буквы» ТАТА – чрезвычайно консервативны.

Таблица 2

**Самые распространенные варианты двух базовых промоторных мотивов ТАТА-бокса и DRE**

	ТАТА-бокс	DRE
варианты	TATAAAAr TATATATr TATAAATr TATATAAr	AATCGATA TATCGATT AATCGATT TATCGATA
консенсус	TATAWAWR	WATCGATW

Однако субъединица ТВР комплекса TFIID способна специфически связываться с гораздо более широким набором вариантов этого сигнала. Хотя, чем дальше данный конкретный сиквенс от консенсуса TATAWAWR, тем в целом слабее будет такой промотор, но его активность все еще можно будет замерить в эксперименте.

В продолжение этой темы Дреш с соавторами средствами компьютерного анализа исследовали корреляции между позициями для трех коровых шестинуклеотидных сигналов эукариотных (дрозофилиных) промоторов: ТАТА-бокс, INR и DPE [Investigating the sequence landscape, 2023]. Их анализ хорошо иллюстрирует известную консервативность и размах вариабельности коровых сигналов, как показано на рисунке 3. Из результатов [Dresch, 2023] следует, в частности, что на всех шести позициях 6-нуклеотидного элемента INR может встретиться любой из четырех нуклеотидов. Тогда, во-первых, это дает огромное число вариантов сиквенсов этого элемента, а во-вторых, трудно представить, как факторы PIC в итоге опознают его.



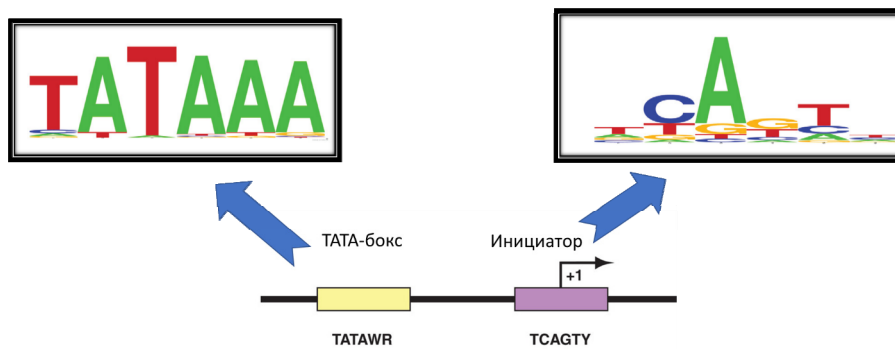


Рис. 3.

Два широко распространенных базовых элемента эукариотных промоторов: TATA box (TATA) и initiator (INR). Представлены их консенсусы и логотипы.

Рассмотрим теперь для сравнения элемент DRE, узнаваемый и специфически связываемый фактором Dref [Haberle, Stark, 2018; *Drosophila core promoter function*, 2022]. Этот сигнал напоминает типичный TFBS: у него выявляются высококонсервативное ядро и варибельная периферия «справа» и «слева». Более того, ядро DRE – это палиндром (ATC GAT). Однако результаты других авторов дают не столь красивую картину консенсуса [Drosophila core promoter function, 2022]. Так что даже этот по-своему изящный мотив однозначно не определен, как и границы его варьирования.

Отметим еще, что сходные палиндромы составляют ядра элементов E-Box1 (CAG CTG) и E-Box2 (CAC GTG) [Drosophila core promoter function, 2022].

С другой стороны, такие важные и часто встречающиеся мотивы, как MTE и DPE, по-видимому, представляют собой блок из нескольких компактных ядер, разделенных более варибельными областями [Haberle, Stark, 2018; *Drosophila core promoter function*, 2022]. Этот блок узнают, как полагают, три или четыре фактора (TAF1, TAF2, TAF6, TAF9), так что можно предположить, что каждый фактор узнает свое короткое консервативное ядро. В этом плане это весьма специфический блок промотерных сигналов.

Как мы уже отмечали, мотивы промоторов естественно рассматривать как частный случай сайтов связывания транскрипционных факторов (transcription factor binding sites, TFBS). Для многих семейств таких сигналов характерны консервативная (зачастую высококонсервативная) центральная часть и более варибельные последовательности перед и после центральной части. Для мотивов же промоторов характерно следующее. Во-первых, несколько промотерных сигналов – совсем короткие (3–4 н. п.:

Ext-10, DCE-I – DCE-III; таблица 1), хотя и важные функционально. Во-вторых, для ряда мотивов не наблюдается столь четкого разделения мотива на консервативное ядро и более вариабельные окрестности (DPE, MTE, BRE<sub>u</sub>; таблица 1). Можно предположить, что это обусловлено спецификой опознавания и связывания таких мотивов факторами транскрипционного комплекса.

### 2.3.1. Корреляции позиций в пределах сигнальных элементов

Как отмечалось, мотивы промоторов естественно рассматривать в связи с мотивами TFBS, притом что анализ TFBS как компьютерными, так и экспериментальными методами составляет значимый раздел современной молекулярной биологии и генетики. Здесь достигнуты обобщения, которые могли бы углубить современные представления о мотивах собственно промоторов. Прежде всего, подчеркнем, что мотивы сайтов связывания традиционно основаны на модели, предполагающей отсутствие корреляций между позициями мотива (независимость данной позиции от остальных) (сравни [Inferring intra-motif dependencies of DNA, 2015]). Это подход на основе position weight matrix (PWM; позиционная весовая матрица, ПВМ).

Однако тщательный анализ математическими / компьютерными методами огромных накопленных в биоинформатике TFBS показал, что гипотеза о независимости позиций и аддитивности вклада каждого нуклеотида в силу сайта связывания в общем случае не верна [Inferring intra-motif dependencies of DNA, 2015]. Продемонстрированы парные корреляции между позициями и даже корреляции более высокого порядка.

Более того, исследования в биоинформатике показали, что корреляции между позициями достоверно наблюдаются и для мотивов коровых сигналов промоторов [Siebert, Söding, 2016]. Так, Зиеберт и Зёдинг сравнили Байесовские марковские модели (Bayesian Markov model, BaMM) разных порядков корреляции (нулевого, первого и второго) для CCT (точки старта транскрипции, CCT) коровых промоторов дрозофилы и показали, что модель второго порядка лучше находит коровые промоторы. Результаты показывают зависимости (корреляции) первого порядка в области вокруг ТАТА-бокса, которые частично возникают из-за переменного расположения ТАТА-бокса относительно CCT [Siebert, Söding, 2016]. Далее, модель BaMM первого порядка регистрирует корреляции ниже (даунстрим) CCT, где находят перекрывающиеся альтернативные мотивы DPE и E-box.

В целом многие мотивы промоторов выглядят как достаточно специфические «слова», отличающиеся своей нерегулярностью (неправильностью) в сравнении со «словами» многих семейств TFBS. Можно предположить, что наблюдаемая специфичность и необычные в сравнении с

TFBS характеристики обусловлены деталями узнавания протеин-ДНК, во многом уникальными только для машинерии транскрипции.

### 3) Многообразие мира промоторов

В настоящее время в эволюционном масштабе рассмотрения можно выделить порядка дюжины (или даже больше) семейств промоторов. Каждое семейство различается преимущественным набором слов (сигналов или мотивов) и их порядком. Прежде всего различают промоторы архей, бактерий и эукариот. Промоторы архей организованы по одному плану, как и промоторы бактерий. Тогда как промоторы эукариот различаются по двум критериям. Во-первых, по тому, для какой РНК-полимеразы они предназначены. Полимераз эукариот три: Pol-I, Pol-II & Pol-III. Более того, в свою очередь, промоторы для Pol-II и Pol-III разделяются еще на несколько семейств. Список этих семейств приведен в таблице 3.

Таблица 3

#### «Семейства» (типы, классы) промоторов прокариот и эукариот

Эволюционные домены	Семейства промоторов
Археи	Типичный базовый пр.
Бактерии	Типичный базовый пр.
Эукариоты	Пр. для Pol-I
	Пр. для Pol-III
	Pol-III type 1
	Pol-III type 2
	Pol-III type 3
	Пр. для Pol-II
	Pol-II class 1
	Pol-II class 2
	Pol-II class 3
	Pol-II class 4

Отметим, что более детальным анализом сиквенсов промоторы для Pol-II разделяются уже минимум на десять «семейств» (а не четыре, как у нас в таблице 3).

#### 3.1. Промоторы для полимеразы архей

Промотор архей весьма напоминает простую версию промоторов эукариот для РНК-полимеразы II [Wenck, Santangelo, 2020; The *Sulfolobus* initiator element, 2013].

Сигнал ТАТА-бокс – это первая инструкция в небольшой цепи событий начала транскрипции у архей [The *Sulfolobus* initiator element, 2013]. ТАТА-бокс необходим для инициации образования трансляционного комплекса. Именно его узнает и связывает фактор этого комплекса TATA binding

protein (TBP). На этом начальном этапе транскрипция еще невозможна и в принципе может идти в оба направления. Выбор направления транскрипции с данного промотора определяется положением второго сигнала относительно TATA-бокса. Это мотив BRE, который узнается и специфически связывается фактором TFB (Transcription Factor B; гомолог эукариотного фактора TFIIB).

Кроме пары облигатных элементов, промотор архей может включать дополнительные элементы [The *Sulfolobus* initiator element, 2013]. Они не определяют начала транскрипции, но их наличие усиливает промотор. Это элемент-инициатор (INR), расположенный рядом с ССТ, и проксимальный элемент промотора (PPE), расположенный между BRE/TATA-боксом и ССТ. В частности, охарактеризованы промоторы с PPT, но без INR: добавление INR усиливает такой промотор.

На современном уровне знаний естественно полагать, что промотор архей является прародителем промоторов эукариот.

### 3.2. Промоторы для полимеразы бактерий

Базовый бактериальный промотор практически универсален, включает несколько обязательных элементов и может быть дополнен несколькими необязательными элементами для ускорения и регуляции транскрипции (рис. 4).

Базовый бактериальный промотор в сравнении с таковым архей с одной стороны и эукариот – с другой представляет собой высокоспециализированную структуру с достаточно жесткой функциональной организацией. Он служит скаффолдом для самосборки преинициального комплекса транскрипции, от набора его элементов и их близости к консенсусам зависит не только скорость транскрипции на этом промоторе, но и пути регулирования транскрипции.

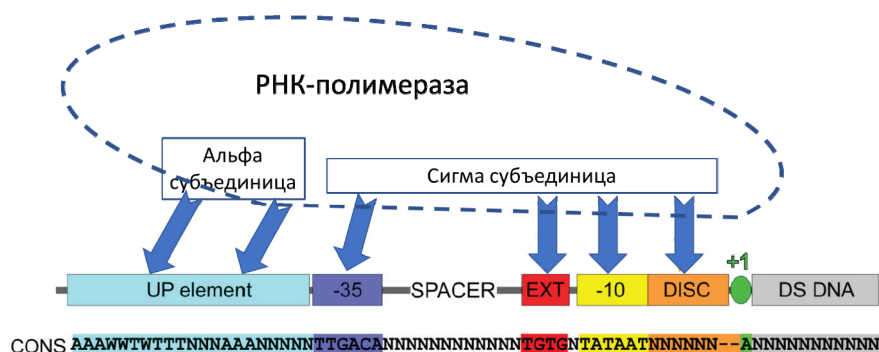


Рис. 4.

Функциональная организация типичного бактериального промотора: конкретные домены субъединиц РНК-полимеразы узнают мотивы бактериального промотора и специфически связываются с ними (указано стрелками).

Сиквенс и структура промотора выше элемента  $-10$  (и включая, по крайней мере, часть этого элемента) управляют этапами первоначального связывания РНК-полимеразы (RNAP) и последующими конформационными изменениями, которые завершаются изгибом ДНК промотора и помещением соответствующих элементов окрестностей старта транскрипции в соответствующие структуры полимеразного комплекса [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015], как на рисунке 4. Эти этапы предшествуют этапу открывания этого района ДНК, примерно 13 п. н. (от  $-11$  до  $+2$ , рис. 4). В совокупности эти шаги определяют скорость образования открытого комплекса на данной стадии инициации транскрипции.

Наиболее удаленные от начала промотора специфичные взаимодействия между RNAP и промотерной ДНК наблюдают в области элемента UP, примерно от  $-40$  до  $-60$  н. п. (рис. 4; обзор представлен в [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015]). UP-элементы представляют собой АТ-тракты, распознаваемые С-концевыми доменами  $\alpha$ -субъединиц ( $\alpha$ CTD).

Для большей части элемента-спейсера между элементами  $-35$  и  $-10$  не существует консенсусной последовательности, но охарактеризована консенсусная длина, которая в значительной степени определяется расстоянием между доменами  $\sigma 4.2$  и  $\sigma 2.3$  [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015]. Наиболее типичная длина спейсера для промоторов  $\sigma 70$  составляет 17 н. п.

Более того, недавние исследования показали, что сиквенс спейсера влияет на чувствительность данного промотора к уровню суперскрученности [Ruff, Record, Artsimovitch, 2021]. Это делает соответствующие промоторы более или менее чувствительными к изменению уровня суперскрученности бактериальной ДНК. А это относится к более иерархически высоким уровням генной регуляции (ниже).

Обязательный элемент « $-10$ » необходим для инициации процесса локального плавления промотерной ДНК. Это второй шаг в формировании транскрипционного комплекса. Особенно критичны два консервативных нуклеотида в этом элементе:  $-11$  А и  $-7$  Т.

Дискриминаторная область между элементом  $-10$  и старт-сайтом (рис. 4) участвует в регуляции времени жизни открытого комплекса [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015]. Ее апстримный конец взаимодействует с доменом  $\sigma 1.2$  (рис. 4). Большинство дискриминаторов имеют длину 6–8 оснований. Как полагают, в зависимости от длины и от последовательности этот элемент соответствует или короткоживущим, или долгоживущим открытым комплексам, что является важной характеристикой промотора.

Более того, имеются основания полагать, что обогащенность сиквенсов дискриминатора парами G-C соотносится с другой регуляторной функцией этого элемента. Как полагают, он (как и спейсер) отвечает за чувствительность процессов транскрипции к уровням суперскрученности бактериальной ДНК [Role of the Discriminator Sequence, 2021]. Изменение

уровня активности многих промоторов в ответ на стресс через изменение уровня суперскрученности – это известная генерализованная регуляция.

В пределах базового промотора могут иметься дополнительные (в целом необязательные) элементы. В некоторых промоторах «расширенная –10» последовательность (TGn; рис. 4) увеличивает активность за счет специфических контактов с  $\sigma 3.0$  (рис. 4), возможно, благодаря увеличению времени жизни открытого комплекса [Ruff, Record, Artsimovitch, 2015]. Мотив TGn может быть особенно важен для промоторов с более слабыми элементами –35 или более длинными спейсерами.

В целом в случае бактериальных промоторов это важно для дальнейшей вовлеченности коровых промоторных элементов в чувствительность к суперскрученности ДНК. Также значима роль коровых элементов в контроле стабильности / времени жизни открытого комплекса.

### 3.3. Промоторы трех полимераз эукариот

Три полимеразы эукариот (Pol I, Pol II, Pol III) во взаимодействии с десятками различных субъединиц полимеразного комплекса и факторов транскрипции способны опознавать много семейств весьма различных по своей функциональной организации промоторов.

#### 3.3.1. РНК-полимераза I

Эукариотические РНК-полимеразы I и III используют свои отдельные наборы белковых факторов для инициации транскрипции [Shen, 2019]. Хотя обе РНК-полимеразы I и III имеют несколько основных субъединиц, идентичных с РНК-полимеразой II, они распознают очень разные последовательности промотора и имеют уникальные общие факторы транскрипции. Промоторы, распознаваемые РНК-полимеразой I, не являются высококонсервативными в эволюционном аспекте. Однако все они имеют схожую общую архитектуру, поскольку состоят из корового элемента, окружающего сайт начала транскрипции, и вышестоящего промоторного элемента, который находится примерно на 100 п. н. выше. РНК-полимераза I, которая транскрибирует гены рРНК, связывается с промотором, содержащим основной промоторный элемент и вышестоящий контрольный элемент (upstream control element, UCE). (UCE расположен между –200 и –107, и основной элемент, расположен между –45 и +20). TBP, который является частью более крупного комплекса под названием SL1, помогает РНК-полимеразе I распознавать основной промотор.

Коровый промотор полимеразы I, наверное, самый нетипичный в сравнении со всем многообразием промоторов эукариот.

### 3.3.2. РНК-полимераза III

Как упоминалось, эукариотические РНК-полимеразы I и III используют отдельный набор белков для инициации транскрипции [The expanding RNA polymerase, 2007]. Хотя обе РНК-полимеразы I и III имеют в своем составе несколько идентичных с РНК-полимеразой II субъединиц, они распознают очень разные последовательности промотора и включают также уникальные факторы транскрипции.

Классическими промоторами РНК-полимеразы III являются промоторы типа I и типа II. Эти гены типа I и типа II включают в себя множество генов РНК, таких как тРНК, субъединица 5 S РНК рибосомы и гены РНК аденовируса VA [The expanding RNA polymerase, 2007].

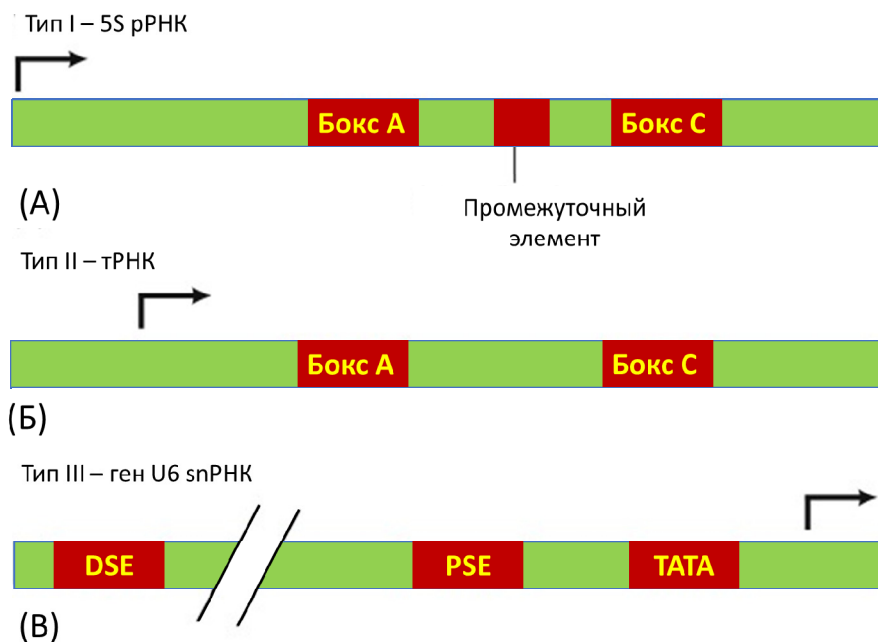


Рис. 5.  
Три семейства (типа) коровых (базовых) промоторов  
эукариотной полимеразы III.

Остановимся для примера только на промоторах типа 2 (рис. 5). Транскрипция генов эукариотических тРНК использует систему промоторов типа 2, состоящую из А-бокса (TRGYNNARNNG) и В-бокса (RGTTCRANTCC), расположенных на разном расстоянии друг от друга, на ~30–60 п. н. ген-специфичным образом [The expanding RNA polymerase, 2007]. Это изменение расстояния отражает включение последовательностей интронов, обнаружен-

ных в нескольких генах тРНК. Инициация транскрипции в этой промоторной системе начинается с узнавания фактором TFIIIC блоков А и В с последующим последовательным специфическим присоединением дополнительных факторов транскрипции, включая комплекс транскрипционных факторов TFIIIB, для позиционирования РНК pol III в стартовом сайте транскрипции. Инициация транскрипции обычно начинается примерно на 7–20 п. н. выше А-бокса [The expanding RNA polymerase, 2007].

В заключение отметим, что базовые промотеры для полимеразы III впечатляют тем, насколько они различаются по функциональной организации и сценариям рекрутирования полимеразы.

### 3.3.3. РНК-полимераза II

Промотеры, специфические для эукариотной РНК-полимеразы II, весьма и весьма разнообразны. Достаточно подробно это многообразие изучено на модельном объекте дрозофиле (в сравнении с человеком) [Drosophila core promoter function, 2022]. Поэтому здесь мы остановимся преимущественно на дрозофилиных промотерах.

Рисунок 6 иллюстрирует функциональную организацию двух конститутивных (thr и RpL23) и одного «эмбрионального» (Mec2) промотеров дрозофилы.

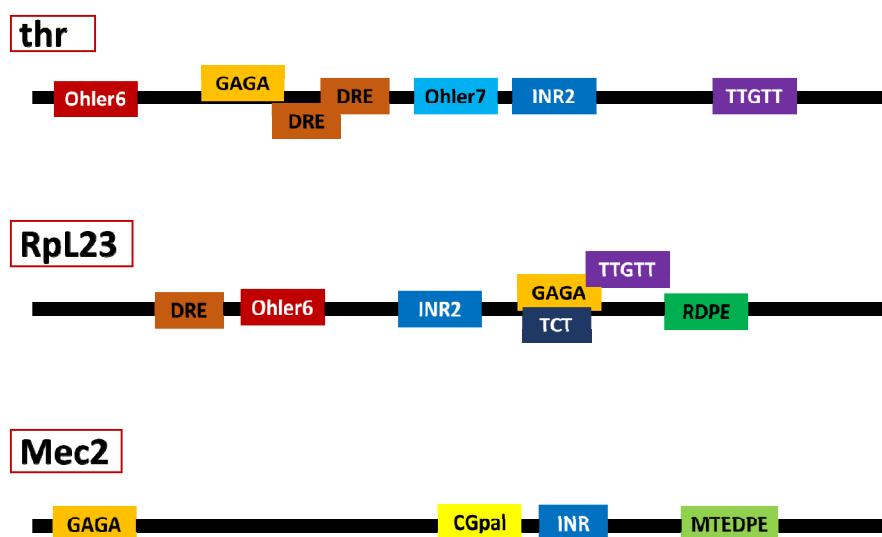


Рис. 6.

Три примера достаточно изученных и весьма непохожих друг на друга по своей функциональной организации эукариотных промотеров для РНК-полимеразы 2.



Оба конститутивных (т.е. нерегулируемых) промотора включают минимум по семь коровых сигналов, но совпадают у них только два (DRE и INR2) [Drosophila core promoter function, 2022]. Однако INR2 у промотора *thr* включает ССТ, тогда как у *RpL23* он локализован выше на два десятка н. п. Далее, *thr* имеет пару элементов DRE и их позиции не совпадают с таковой для этого же элемента у *RpL23*. По функциям *thr* относится к промоторам «широкого пика» (broad peak, BP), а *RpL23* обеспечивает высокую конститутивную экспрессию [Drosophila core promoter function, 2022].

Промотор эмбрионального гена (контролирует эмбриогенез) *Mec2* имеет всего пять базовых сигналов (рис. 6). Выше всего найден у него сигнал GAGA, и в этом он сходен с *thr*, но позиции не совпадают. Этот промотор относят к первой категории промоторов эмбриогенеза: они высокорегулируемы, относятся к типу узкого пика (narrow peak, NP) и ассоциированы с остановкой полимеразы 2 (stalled Pol II).

Как видим, эти три промотора из трех категорий промоторных архитектур различаются не только функционально, но и по структуре: они практически не имеют ничего общего по набору базовых сигналов. При этом все они транскрибируются Pol II.

Хотя данные на этот счет неполны, но многие исследователи полагают, что различия в закономерностях экспрессии этих трех генов (*thr*, *RpL23* и *Mec2*) определяются их специфическими (даже уникальными) наборами и грамматикой «использования» базовых промоторных сигналов. Иначе говоря, это три примера впечатляюще разных наборов инструкций для процессов транскрипции разных генов.

#### **3.3.4. Роль базовых промоторов в контроле эмбриогенеза**

Недавние исследования подтвердили, что область корового промотора представляет собой активный регуляторный модуль, способный контролировать программы транскрипции в эволюционно консервативных генных регуляторных сетях во время эмбрионального развития [The Core Promoter Is a Regulatory, 2021].

Визуализация живых эмбрионов дрозофилы показала, что именно организация промоторов диктует взрывы транскрипции (transcriptional bursting), обусловленные чередованием активных и неактивных состояний промотора [Quantitative imaging of transcription in living Drosophila, 2021]. В частности, ТАТА-содержащие промоторы демонстрируют длительные активные состояния, высокую скорость инициации полимеразы и нечастые неактивные состояния [Quantitative imaging of transcription in living Drosophila, 2021]. Напротив, сигнал INR ассоциируется с повышенной частотой неактивных состояний [Quantitative imaging of transcription in living Drosophila, 2021].

Коровый промотер, как обсуждалось, представляет собой самую базовую и генерализованную составляющую машинерии регуляции генов в эмбриогенезе и гомеостазе организма. В основном эта регуляторная информация закодирована как сеть большого количества многообразных генно-регуляторных элементов. Промотер является приемником всех этих многообразных регуляторных импульсов. Однако часть таких регуляторных связей замыкается непосредственно на коровом промотере или непосредственно рядом с ним. Почему часть регуляторных связей делегируется промотерам, тогда как типично это функция цис-регуляторных элементов – вопрос на стыке эволюционной теории и молекулярной биологии гена. Но эта характеристика многих семейств эукариотных промотеров обуславливает усложнение языка промотеров.

#### 4) Расшифровка языка промотеров

Накопленная к сегодняшнему дню информация по организации и функционированию промотера свидетельствует о впечатляющей сложности процессов, в которые вовлечен промотер. Прежде всего, базовый промотер со своими типичными мотивами представляет собой платформу для сборки преинициационного комплекса. PIC состоит из собственно РНК-полимеразы, базальных факторов транскрипции (например, TFIIA, TFIIB, TFIID, TFIIЕ, TFIIF и TFIIN) и ДНК промотера. Более того, конкретные наборы мотивов, детали их сиквенсов и локальный состав элементов влияет на эффективность и специфику последующих событий транскрипции. Поэтому первичными и облигатными агентами, узнающими и считывающими сигналы промотеров являются общие факторы транскрипции из итогового состава PIC.

В случае бактерий показано, что детали сиквенсов и локальный состав элементов в районе петли («ext –10», расширенный элемент –10, элемент «–10» и «Disc», дискриминатор, как на рис. 4) определяют эффективность процессов в этой области. На рассматриваемой стадии в этом месте сигналы промотера выполняют дополнительные функции, взаимодействуя с РНК-полимеразным комплексом. Для промотеров эукариот естественно ожидать аналогичных свойств.

Если в состав промотера входят TFBS, то это обеспечивает следующий уровень функционирования промотера. Сайты опознаются соответствующими активаторами и / или репрессорами, так что именно они являются читателями этих мотивов. В результате связывания транскрипционного фактора этот протеин специфически взаимодействует с факторами РНК-полимеразного комплекса (непосредственно или через факторы-модуляторы) и меняет скорость транскрипции этого гена. Так что этот уровень регуляции относится уже к уровню генных регуляторных сетей.

Промотор бактерий на сегодня наиболее исследован, многие заключения по деталям языков промоторов мы делаем исходя из этого.

#### **4.1. Наборы структурных сигналов**

Основная, если не единственная функция большинства мотивов базовых промоторов – обеспечивать (молекулярно-механически и стереохимически) точное позиционирование субъединиц РНК-полимеразного комплекса относительно ССТ на стадии инициации транскрипции. Для позиционирования одних протеиновых факторов требуется один сигнал (как протеин связывания ТАТА-бокса), тогда как для позиционирования других – два и больше (как, например, сигма-фактор бактерий, связывающий до четырех мотивов). Для этих мотивов их расстояние от старта транскрипции задано достаточно жестко или даже очень жестко. «Смысл» таких мотивов – указать точное положение и ориентацию ряда ключевых факторов РИС. Можно сказать, что они функционируют механически на основе стереохимических принципов. Так что информационная составляющая таких сигналов в этой их функции представляется малой.

Мотивы, не имеющие жесткой привязки к ССТ, скорее всего, распознаются факторами, не образующими жестко однозначных комплексов с компонентами РИС.

Однако у эукариот охарактеризовано минимум восемь семейств промоторов. Каждый такой промотор своим (минимальным) набором таких «структурных» мотивов (от двух до четырех) обеспечивает сборку своего преинициального комплекса. Здесь мы уже имеем выбор из многих вариантов, так что информационная составляющая становится значимой. Набор сигналов определяет не только позицию и ориентацию комплекса РИС, но и состав комплекса.

#### **4.2. «Инструктирующие» сигналы**

Сигналы со структурной функцией могут иметь также инструктирующие (программирующие) функции. Как упоминалось выше, бактериальный Ext-10 увеличивает время жизни открытого комплекса, а Disc и Spacer определяют чувствительность или нечувствительность гена к суперскрученности ДНК [The bacterial promoter spacer modulates, 2021; Role of the Discriminator Sequence, 2021].

Имея в виду успешность классификации архитектур эукариотных промоторов относительно специфики процессов транскрипции их генов, мы можем ожидать, что многие сигналы эукариот инструктируют машинерию транскрипции по ключевым характеристикам синтеза матричной РНК. Однако конкретные данные на этот счет все еще фрагментарны.

### 4.3. Сигналы для контроля генной активности

Сайты для специфического связывания транскрипционных факторов активаторов и репрессоров у эукариот типично дистанцированы от базового промотора, тогда как у бактерий охарактеризовано немало промоторов или непосредственно соседствующих с такими сайтами, или даже несущих их в своем составе [Kinkhabwala, Guet, 2008]. TFBS в составе промотора наверное не имеют особых структурных функций, но отвечают за регуляцию активности гена. Такой ген является регулируемым, а не конститутивным [Kinkhabwala, Guet, 2008]. Если сайт узнается активатором, то его специфическое связывание активирует этот ген. Если же он узнается репрессором, то ген, соответственно, репрессируется.

Более того, в составе такого промотора (и / или в непосредственном соседстве с ним) могут быть два и даже три TFBS [Kinkhabwala, Guet, 2008]. Тогда регуляция такого гена в зависимости от природы транскрипционных факторов для этих сайтов может подчиняться одному из набора правил булевой логики [Buchler, Gerland, Hwa, 2003].

Если промотор имеет сайт связывания репрессора и активатора, то регуляция данного гена в простейшем случае описывается булевой функцией ANDN:  $a \text{ AND NOT } b$  [Kinkhabwala, Guet, 2008]. А именно, ген активируется только когда в локальном окружении данного промотора высокая концентрация активатора и низкая – репрессора. В остальных случаях ген (практически) не активен.

Так что в целом активность промотора в регуляции транскрипции его гена может быть описана логическими функциями.

### 4.4. Откуда промоторы могут получать сигналы?

Промоторы, как видим, не только инструктируют РИС о деталях транскрипции подконтрольного гена. При критическом участии мотивов промотора РНК-полимераза получает регулирующие сигналы от процессов в клетке и даже от воздействий извне клетки.

#### 4.4.1. Промоторы получают сигналы извне

Самым эффективным примером можно считать вовлеченность бактериальных промоторных сигналов Disc и Spacer в чувствительность гена к суперскрученности ДНК [The bacterial promoter spacer modulates, 2021; Role of the Discriminator Sequence, 2021]. Изменение уровня активности многих промоторов в ответ на стресс через изменение уровня суперскрученности – это известная генерализованная регуляция ДНК [Role of the Discriminator Sequence, 2021].

Как известно, бактерии сталкиваются с быстрыми изменениями условий окружающей среды (доступность питательных веществ, физические или химические стрессы), на которые они реагируют быстрыми и глобальными модификациями своей транскрипционной программы. Вдохновленные ранними исследованиями, современные механистические модели этого регуляторного действия основаны преимущественно на факторах транскрипции, которые связываются со специфическими промоторами и взаимодействуют с РНК-полимеразой. Однако более половины промоторов *Escherichia coli* не подвергаются воздействию каких-либо известных транскрипционных факторов, а целые организмы даже почти лишены их, но, тем не менее, обладают сложной регуляцией [Insights into the mechanisms of basal coordination, 2016]. Глобальный контроль транскрипции дополнительно объясняется вариациями в составе РНК-полимеразы (вариации сигма-факторов) в зависимости от условий роста, а также регуляторных молекул, связывающихся с полимеразой, таких как ppGpp (см. обзор в [Role of the Discriminator Sequence, 2021]).

Помимо этой изменчивости механизма транскрипции, физическое состояние самой матрицы ДНК подлежит клеточному контролю посредством сверхспирализации ДНК, т.е. чрезмерного или недостаточного закручивания двойной спирали под действием ферментов топоизомеразы и архитектурных белков (см. обзор в [Role of the Discriminator Sequence, 2021]). У бактерий хромосома поддерживается на отрицательном уровне суперскрученности под действием ДНК-гиразы, который изменяется в ответ на сигналы окружающей среды. Этот уровень суперскрученности влияет на экспрессию многих промоторов как *in vitro*, так и *in vivo*. Исследования показали, что, помимо модуляции связывания регуляторных белков, суперскрученность может влиять на активность самой РНК-полимеразы и, таким образом, может действовать как глобальный регулятор транскрипции.

Коровые промоторы в конечном счете способны получать регулирующие импульсы даже из окружающей среды.

#### **4.4.2. Промоторы непосредственно получают сигналы от ГРС**

Как обсуждалось, у бактерий TFBS могут находиться непосредственно в последовательностях корового промотора и непосредственно взаимодействовать на уровне интерфейса соответствующих транскрипционных факторов (активаторов и репрессоров) и сигма-фактора (или альфа-фактора) РНК-полимеразного комплекса. Поэтому уже на уровне базового промотора может осуществляться регуляция генов активаторами и репрессорами.

## 5) Многообразие языков промоторов

Многие базовые сигналы промоторов, как отмечалось, должны находиться на строго заданном расстоянии от ССТ (отклонения типично не более 1–2 н. п.). Однако многие базовые мотивы эукариот не демонстрируют жесткой привязки к ССТ (мотивы Отлера, DRE и др).

3'–5' направление ряда базовых сигналов (в отличие от многих TFBS) задано однозначно. Другие базовые сигналы могут располагаться на обеих нитях ДНК: GAGA – revGAGA, TTGTT – revTTGTT, NR2 – revNR2.

Более того, среди базовых элементов корового промотора могут находиться TFBS, грамматика которых соответствует грамматике этих сайтов (они могут быть парными и палиндромными, и их позиция не привязана к ССТ).

При этом промоторы эукариот образуют целый ряд различных архитектур базовых промоторов.

Упомянутые здесь правила резонно отнести к грамматическим правилам языков промоторов.

### 5.1. Кто считывает промоторные сигналы?

Сигналы промотора считывают протеины, обычно называемые общими транскрипционными факторами (general transcription factors): это и субъединицы РНК-полимеразного комплекса, и транскрипционные факторы активаторы и репрессоры (и факторы медиаторы). В случае эукариот все эти протеины принимают участие в формировании и функционировании полимеразного комплекса. При этом начальный сигнал как результат специфического связывания данного фактора с данным мотивом далее молекулярно-механически передается через интерфейсы «протеин – протеин» по цепочкам компонентов РНК-полимеразного комплекса до конечного «адресата» этого сигнала. В итоге происходят требуемые изменения в функционировании полимеразного комплекса. Иначе говоря, начальный сигнал в итоге оказывает регулирующее действие на всю машину транскрипции и, соответственно, на процессы транскрипции рассматриваемого гена.

Следует иметь в виду, что факторы, специфически узнающие и считывающие (данный) сигнал промотора, не способны «видеть» его с расстояния. В реальности они находят и узнают его «на ощупь», как иллюстрирует рисунок 7 на примере конкретного класса транскрипционных факторов – факторов с «цинковыми пальцами» (сравни [Jamieson, Miller, Pabo, 2003]). Например, такой важный компонент эукариотной машины транскрипции, как TFIIIA (на самом деле прародитель этого обширного класса факторов), узнающий, в частности, элемент ICR, относится к этому классу.

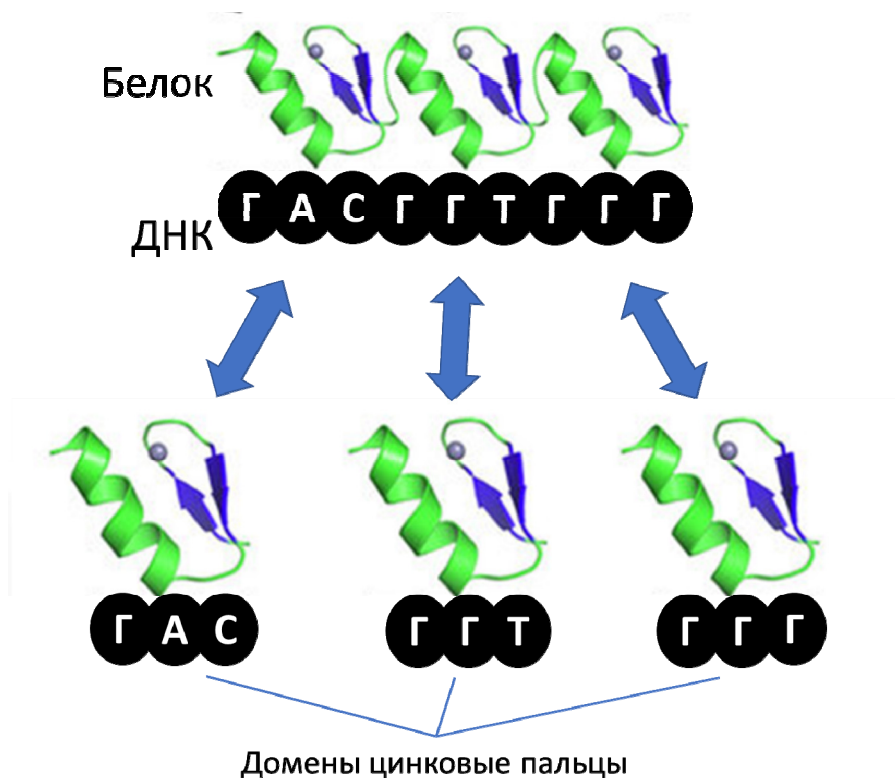


Рис. 7.

Принцип стереохимической комплементарности в узнавании протеиновыми факторами слов-мотивов ДНК. Определенные элементы структуры соответствующих протеиновых факторов «комплементарны» соответствующим последовательностям ДНК. Цинковые пальцы белка «на ощупь» узнают триплеты ДНК.

Далее проиллюстрируем эту тему примерами для бактериальных промоторов, которые изучены наиболее детально. Рассмотрим механизмы передачи сигналов к полимеразе от сайтов активаторов (или репрессоров), расположенных в пределах базового промотора.

Эти события биомолекулярной механики достаточно подробно изучены для некоторых модельных процессов. Такой моделью для исследователей, в частности, служит прекрасно изученный *lac*-оперон кишечной палочки. Цепочка молекулярных событий здесь начинается с узнавания и специфического связывания димерного протеина-активатора с его сайтом в пределах корового промотора. В итоге такого специфического связывания активатора с ДНК промотора этот активатор становится способным взаимодействовать как минимум с двумя доменами  $\alpha$ -субъединицы (доме-

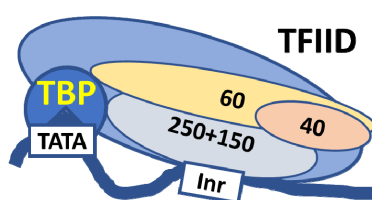
ны  $\alpha$ CTD и  $\alpha$ NTD). В конечном счете (при непоясненных пока что деталях) активаторы посредством этих интерфейсов запускают процессы транскрипции.

Таким образом, мы имеем хорошо изученный прекрасный пример того, как бактериальный промотер, по сути, выполняет функции, типично присущие эукариотным энхансерам.

### 5.1.1. Как считываются промотерные сигналы

Базовые элементы считывания и «понимания» сигналов промотера заложены еще у архей. У эукариот промотеры эволюционно усложняются и диверсифицируются. Это наблюдается, в частности, на уровне процессов и механизмов считывания промотерных сигналов.

**ТАТА-зависимый промотер**



**DPE-зависимый промотер**

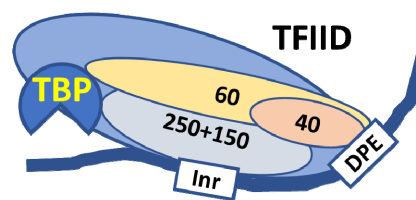


Рис. 8.

Модель двух различных взаимодействий комплекса TFIID с базовыми промотерами, управляемыми сигналами ТАТА и DPE соответственно.

Имеются основания полагать, что один и тот же РИС способен взаимодействовать с разными семействами промотеров. Иначе говоря, такой комплекс способен прочитывать более одного набора инструкций, несо- мых промотером.

В частности, Кутах и Кадонага предложили такую модель связыва- ния TFIID с промотерами, содержащими ТАТА и DPE [Kutach, Kadonaga, 2000], как иллюстрирует рисунок 8. По-видимому, существуют значитель- ные различия во взаимодействии TFIID с ТАТА-содержащими и DPE- содержащими промотерами. Согласно модели, TFIID способен участво- вать в двух различных взаимодействиях с двумя семействами промотеров соответственно. В ТАТА-управляемом промотере проявляется некоторая гибкость молекулы ДНК между мотивами ТАТА и Inr, о чем свидетельст- вует вариабельность расстояний между элементами ТАТА и Inr в природ- ных промотерах. В промотере, управляемом DPE, нить ДНК следует по- верхности TFIID от Inr к DPE.



Более того, один и тот же промотор (у мушки и у человека) может опознаваться и связываться совершенно разными PIC на основе полимеразы II или полимеразы III.

Более того, данный коровый сигнал эукариотного промотора может опознаваться и специфически связываться («считываться») более чем одним базовым транскрипционным фактором PIC. Как известно, сигнал INR взаимодействует с фактором TAF1 и двумя субъединицами комплекса TFIID (как обсуждается в [Investigating the sequence landscape, 2023]). Однако в отсутствие TFIID находятся дополнительные факторы для «считывания» INR, такие как TFIID-I и YY1. Предполагается, что эти факторы имеют более высокую специфичность к деталям последовательности INR и связываются только с частью промоторов [Butler, Kadonaga, 2002].

Отмеченная нами выше (подраздел «Промоторные сигналы как “слова”») неаддитивность вклада некоторых позиций мотива (наличие корреляций более высоких порядков между нуклеотидами) имеет непосредственное отношение к вопросу «кто считывает слова-сигналы». А именно, один и тот же (транскрипционный) фактор в общем случае способен узнавать, специфически связываться (и передавать «импульс» от сигнала дальше по цепочке) с более чем одним сигнальным консенсусом.

Обсуждается несколько возможных объяснений этого интригующего наблюдения. Общая гипотеза сводится к тому, что транскрипционные факторы узнают форму ДНК (стереохимия), а не конкретную последовательность нуклеотидов [Mathelier, Wasserman, 2013]. С другой стороны, имеются основания полагать, что конкретный фактор может по-разному узнавать близкие последовательности, прицельно взаимодействуя с конкретными нуклеотидами, по крайней мере для факторов с «цинковыми пальцами» [A genome-wide map of CTCF, 2013; Inferring intra-motif dependencies of DNA, 2015].

Как видим, пути и механизмы узнавания слов-мотивов протеиновыми факторами транскрипции могут быть разнообразны и в целом это требует дальнейших исследований.

## **5.2 Языки промоторов**

Накопленное к сегодняшнему дню многообразие эмпирических материалов, как и обобщений на их основе, позволяет говорить о нетривиальных аналогиях между языками промоторов и человеческими языками (прежде всего в форме письменности). Причем эта область знаний на стыке наук подразумевает как аналогии по функциональной организации, так и сходства эволюционных процессов. Сходства в организации и функционировании на уровне слов и грамматических правил нами уже обсуждались. Рассмотрим теперь сходства эволюций.

Прежде всего, самыми древними и примитивными являются языки прокариот, в особенности архей. У архей язык промоторов – единствен-

ный. Свой общий язык промоторов и у бактерий. Хотя уже у бактерий появляются и развиваются компоненты генной регуляции и на уровне промоторов (помимо энхансеров). В сравнении с прокариотами эукариоты эволюционно развили набор достаточно различающихся промоторных языков. Уровень диверсификации здесь таков, что можно говорить об обособлении «наречий». Так что агенты – получатели инструкций на одном языке промоторов хуже понимают другие промоторные языки. Имеются хорошо охарактеризованные случаи, когда, например, промотор для Pol III подходит только для нее, но не для Pol II, как и наоборот [Dergai, Hernandez, 2019; Engineered miniature H1 promoters, 2021].

### 5.2.1. Языки промоторов и человеческие языки

Если мы зададимся достаточно старым и достаточно известным вопросом, насколько языки регуляции генов сходны с человеческими языками, то достигнутые (и очертанные здесь) обобщения позволяют привести некоторые соображения. Они интересны, по нашему мнению, не только с дидактических позиций, но и позволяют под другими углами взглянуть на эволюцию генно-регуляторных «языков».

Впечатляющее многообразие «написания» слов-сигналов промоторов (как и TFBS, более широко) входит, на первый взгляд, в противоречие с представлениями о письменной речи. Однако напрашиваются минимум два аргумента. Во-первых, широкое использование в современной жизни спеллчекеров вообще и в поисковых запросах в частности весьма напоминает проблему опознавания транскрипционным фактором данной конкретной версии сиквенса сигнала (сайта связывания). Иначе говоря, в обоих случаях имеется «идеальное», каноническое написание и множество неканонических написаний (написаний с «орфографическими ошибками»). И в обоих случаях проблема сводится к распознаванию, идентификации «слов», невзирая на зашумленность «ошибками». И в обоих случаях распознавание облегчается и подкрепляется контекстом.

Таблица 4 ниже показывает девять близких слов, в итоге распознаваемых спеллчекером как слово *luster* (на основании контекста). Примечательно, что во всех девяти случаях сохраняется только сердцевинная пара букв ST.

Во-вторых, в чем-то сходную ситуацию мы наблюдаем, прослеживая изменения правописания когнатных слов в разных языках. Родственные (когнатные) слова – это сходные по звучанию слова, как полагают, возникшие из общего «предкового» языка. Здесь мы наблюдаем результаты эволюции человеческих языков, закрепленные их нормами орфографии, что в итоге дает набор эффектных примеров, вполне напоминающих таблицы сигналов промоторов.

Таблица 4

**Набор слов, близких по написанию к слову LUSTER**

	слово
0	<b>luster</b>
1	cluster
2	lister
3	lester
4	buster
5	ulster
6	lustre
7	duster
8	muster
9	custer

Отметим в заключение, что сходство между промотерными языками и письменными языками человека, по крайней мере формальное, наблюдается не только по сути, но и на уровне стратегии работы современных спеллчекеров и подходов к идентификации и аннотации промоторов в биоинформатике.

**5.2.2. Чем отличаются языки промоторов  
от языков человеческих?**

Как минимум, можно указать следующие отличия промотерных языков от человеческих.

Слова промоторов никак физически не обособляются от других «неосмысленных» последовательностей. Между словами нет пробелов. И только макромолекулы, «специально» отобранные эволюцией, способны их находить, опознавать и прочитывать. Расстояния между словами могут быть значительными. Многие слова промоторов имеют жесткие правила их позиций относительно старта трансляции.

В целом можно сказать, что язык промоторов это – язык в метафорическом смысле. Характерные черты высокоспецифического кода или языка инструкций, напоминающие первые примитивные компьютерные языки. Но именно высокая вариабельность «написания» слов и наличие агентов для их опознавания роднят их со словами человеческих языков.

Что дают аналогии промотерного языка с человеческими? В прикладном аспекте аннотирования новых геномных последовательностей эмпирические правила грамматик языков промоторов становятся неким общим основанием соответствующих алгоритмических подходов.

## 7) Языки регуляции генов и современный эволюционизм

Как мы убедились, на уровне функционирования промоторов наблюдаются не один, но несколько языков генной (и геномной) регуляции. Язык регуляции промоторов имеет собственные слова и собственную грамматику. Однако язык регуляции ГРС также наблюдается уже на уровне промоторов. Более того, на уровне промоторов существуют явления, относящиеся к активности клеточных регуляторных сетей, когда вовлечены клеточный сигналинг и даже сигналы из среды. Следовательно язык регуляции промоторов относится, вообще говоря, к целой иерархии языков управления клетки и многоклеточного организма (если мы говорим о промоторах многоклеточных) в эмбриональном развитии и в поддержании зрелого организма. Современное развитие теории эволюции, включая расширенный эволюционный синтез, должно включать специфику эволюции этих иерархических языков.

### Список литературы

- A genome-wide map of CTCF multivalency redefines the CTCF code / Nakahashi H., Kwon K.R., Resch W., Vian L., Dose M., Stavreva D. [et al.] // *Cell Rep.* – 2013. – № 3(5). – P. 1678–1689. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2013.04.024>
- Anatomy of Escherichia coli sigma70 promoters / Shultzaberger R.K., Chen Z., Lewis K.A., Schneider T.D. // *Nucleic Acids Res.* – 2007. – № 35(3). – P. 771–788. – URL: <https://doi.org/10.1093/nar/gkl956>
- Andersson R, Sandelin A. Determinants of enhancer and promoter activities of regulatory elements // *Nat. Rev. Genet.* – 2020. – № 21(2). – P. 71–87. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41576-019-0173-8>
- Base-resolution models of transcription-factor binding reveal soft motif syntax / Avsec Ž., Weilert M., Shrikumar A., Krueger S., Alexandari A., Dalal K., Fropf R., McAnany C., Gagneur J., Kundaje A., Zeitlinger J. // *Nat. Genet.* – 2021. – № 53(3). – P. 354–366. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00782-6>
- Brázda V., Bartas M., Bowater R.P. Evolution of Diverse Strategies for Promoter Regulation // *Trends Genet.* – 2021. – № 37(8). – P. 730–744. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2021.04.003>
- Buchler N.E., Gerland U., Hwa T. On schemes of combinatorial transcription logic // *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* – 2003. – 100(9). P. 5136–5141. – URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.0930314100>
- Butler J.E., Kadonaga J.T. The RNA polymerase II core promoter: a key component in the regulation of gene expression // *Genes Dev.* – 2002. – № 16(20). – P. 2583–2592. – URL: <https://doi.org/10.1101/gad.1026202>
- Dergai O., Hernandez N. How to Recruit the Correct RNA Polymerase? // *Lessons from snRNA Genes.* – 2019. – № 35(6). – P. 457–469. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2019.04.001>
- Determinants of the C-Terminal Domain of the Escherichia coli RNA Polymerase  $\alpha$  Subunit Important for Transcription at Class I Cyclic AMP Receptor Protein-Dependent Promoters / Savery N.J., Lloyd G.S., Busby S.J.W., Thomas M.S., Ebright R.H., Gourse R.L. // *J. Bacteriol.* – 2002. – № 184(8). – P. 2273–2280. – URL: <https://doi.org/10.1128/jb.184.8.2273-2280.2002>
- Engineered miniature H1 promoters with dedicated RNA polymerase II or III activity / Gao Z., van der Velden Y.U., Fan M., van der Linden C.A., Vink M., Herrera-Carrillo E., Berkhout B. // *J. Biol. Chem.* – 2021. – № 296. – P. 100026. – URL: <https://doi.org/10.1074/jbc.RA120.015386>

- Haberle V., Stark A. Eukaryotic core promoters and the functional basis of transcription initiation // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* – 2018. – № 19(10). – P. 621–637. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41580-018-0028-8>
- Inferring intra-motif dependencies of DNA binding sites from ChIP-seq data / Eggeling R., Roos T., Myllymäki P., Grosse I. // *BMC Bioinformatics.* – 2015. – № 16. – P. 375. – URL: <https://doi.org/10.1186/s12859-015-0797-4>
- Insights into the mechanisms of basal coordination of transcription using a genome-reduced bacterium / Junier I., Unal E.B., Yus E., Lloréns-Rico V., Serrano L. // *Cell Syst.* – 2016. – № 2. – P. 391–401. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cels.2016.04.015>
- Investigating the sequence landscape in the Drosophila initiator core promoter element using an enhanced MARZ algorithm / Dresch J.M., Conrad R.D., Klonaros D., Drewell R.A. // *PeerJ.* – 2023. – № 11. – P. e15597. – URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.15597>
- Jamieson A.C., Mille J.C., Pabo C.O. Drug discovery with engineered zinc-finger proteins // *Nat. Rev. Drug Discov.* – 2003. – № 2(5). – P. 361–368. – URL: <https://doi.org/10.1038/nrd1087>
- Jindal G.A., Farley E.K. Enhancer grammar in development, evolution, and disease: dependencies and interplay // *Dev. Cell.* – 2021. – № 56(5). – P. 575–587. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2021.02.016>
- Kinkhabwala A., Guet C.C. Uncovering cis regulatory codes using synthetic promoter shuffling // *PLoS One.* – 2008. – № 3(4). – P. e2030. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002030>
- Kutach A.K., Kadonaga J.T. The downstream promoter element DPE appears to be as widely used as the TATA box in Drosophila core promoters // *Mol. Cell Biol.* – 2000. – № 20(13). – P. 4754–4764. – URL: <https://doi.org/10.1128/MCB.20.13.4754-4764.2000>
- Lal A. (). Deciphering the regulatory syntax of genomic DNA with deep learning. *J. Biosci // Journal of biosciences.* – 2022. – № 47. – P. 47. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12038-022-00291-6>
- Large-scale analysis of Drosophila core promoter function using synthetic promoter / Qi Z., Jung C., Bandilla P., Ludwig C., [et al.], () // *Mol. Syst. Biol.* – 2022. – № 18(2). – P. e9816. – URL: <https://doi.org/10.15252/msb.20209816>
- Mathelier A., Wasserman W.W. The next generation of transcription factor binding site prediction // *PLoS Comput. Biol.* – 2013. – № 9(9). – P. e1003214. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003214>
- Mutational analysis of Escherichia coli sigma28 and its target promoters reveals recognition of a composite –10 region, comprised of an 'extended –10' motif and a core –10 element / Koo B.M., Rhodius V.A., Campbell E.A., Gross C.A. // *Mol. Microbiol.* – 2009. – № 72(4). – P. 830–843. – URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2009.06691.x>
- Paget M.S. Bacterial Sigma Factors and Anti-Sigma Factors: Structure, Function and Distribution // *Biomolecules.* – 2015. – № 5. – P. 1245–1265. – URL: <https://doi.org/10.3390/biom5031245>
- Quantitative imaging of transcription in living Drosophila embryos reveals the impact of core promoter motifs on promoter state dynamics / Pimmett V.L., Dejean M., Fernandez C., Trullo A., Bertrand, E. Radulescu O., Lagha M. // *Nature Communications.* – 2021. – № 12(1). – P. 4504. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24461-6>
- Regulon DB version 9.0: high-level integration of gene regulation, coexpression, motif clustering and beyond / Gama-Castro S., Salgado H., Santos-Zavaleta A. [et al.] // *Nucleic Acids Res.* – 2016. – № 44(D1). – P. D133–D143. – URL: <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1156>
- Role of the Discriminator Sequence in the Supercoiling Sensitivity of Bacterial Promoters / Forquet R., Pineau M., Nasser W., Reverchon S., Meyer S. // *mSystems.* – 2021. – № 6(4). – P. e0097821. – URL: <https://doi.org/10.1128/mSystems.00978-21>
- Ruff E.F., Record M.T. Jr, Artsimovitch I. Initial events in bacterial transcription initiation // *Biomolecules.* – 2015. – № 5(2). – P. 1035–1062. – URL: <https://doi.org/10.3390/biom5021035>
- Shen C.-H. Gene Expression: Transcription of the Genetic Code // *Diagnostic Molecular Biology.* – 2019. – P. 59–86. – URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802823-0.00003-1>

- Siebert M., Söding J. Bayesian Markov models consistently outperform PWMs at predicting motifs in nucleotide sequences // *Nucleic Acids Res.* – 2016. – № 44(13). – P. 6055–6069. – URL: <https://doi.org/10.1093/nar/gkw521>
- TF-COMB – Discovering grammar of transcription factor binding sites / Bentsen M., Heger V., Schulthei H., Kuenne C., Looso M. // *Comput. Struct. Biotechnol. J.* – 2022. – № 20. – P. 4040–4051. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.07.025>
- The bacterial promoter spacer modulates promoter strength and timing by length, TG-motifs and DNA supercoiling sensitivity / Klein C.A., Teufel M., Weile C.J. [et al.] // *Sci. Rep.* – 2021. – № 11. – P. 24399. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03817-4>
- The Core Promoter Is a Regulatory Hub for Developmental Gene Expression / Sloutskin A., Shir-Shapira H., Freiman R.N., Juven-Gershon T. // *Front. Cell. Dev. Biol.* – 2021. – № 9. – P. 666508. – URL: <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.666508>
- The expanding RNA polymerase III transcriptome / Dieci G., Fiorino G., Castelnuovo M., Teichmann M., Pagano A. // *Trends Genet.* – 2007. – № 23(12). – P. 614–22. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2007.09.001>
- The *Sulfolobus* initiator element is an important contributor to promoter strength / Ao X., Li Y., Wang F., Feng M., Lin Y., Zhao S., Liang Y., Peng N.J. // *Bacteriol.* – 2013. – № 195(22). – P. 5216–5222. – URL: <https://doi.org/10.1128/JB.00768-13>
- Transcription imparts architecture, function and logic to enhancer units / Tippens N.D., Liang J., Leung A.K., Wierbowski S.D., Ozer A., Booth J.G., Lis J.T., Yu H. // *Nat. Genet.* – 2020. – № 52(10). – P. 1067–1075. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41588-020-0686-2>
- Weingarten-Gabbay S., Segal E. The grammar of transcriptional regulation // *Hum. Genet.* – 2014. – № 133(6). – P. 701–11. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00439-013-1413-1>
- Wenck B.R., Santangelo T.J. Archaeal transcription // *Transcription.* – 2020. – № 11(5). – P. 199–210. – URL: <https://doi.org/10.1080/21541264.2020.1838865>

A.V. Spirov<sup>1</sup>

### Languages of gene regulation using the example of signal elements of promoters

**Abstract.** Promoters are among the most ancient components of the regulatory part of genes, and without a promoter, a gene is nonfunctional. Promoters are composed of a certain set of conserved signal sequences – motifs, often called promoter signals (the sequences between signals are treated as random). Eukaryotic promoters are divided into several types of architecture, so that each type tends to adhere to its structural and functional organization: different sets of signals are arranged according to their own (grammatical) rules. Different architectures correspond to different scenarios for the functioning of the corresponding genes – different families of constitutive genes and genes of embryogenesis. Promoter signals are recognized by components of the transcription complex and determine several important characteristics of the gene transcription process. Promoter signals obey specific sets of grammatical rules so that they can be searched in uncharacterized DNA sequences according to these rules using bioinformatics. In this article, we will focus specifically on data that allows us to interpret promoters as a set of instructions for the details of the activity of the RNA polymerase complex during the transcription of the corresponding genes. We ultimately come to the conclusion that the evolution of promoters is expressed in the complication and diversification of the promoter language. While in prokaryotes the evolution of promoters can be characterized as

<sup>1</sup> Alexander V. Spirov, institute of information for social sciences of the Russian academy of sciences (Moscow, Russia); alexander.spirov55@gmail.com

the complication of a single basic organization, a basic set of signaling elements, in eukaryotes many classes of promoters with significantly different basic organizations have been characterized. The evolution of eukaryotic promoters is believed to be driven by increasing complexity of gene regulation due to multicellularity and embryonic development.

**Keywords:** gene regulation; gene regulatory modules; regulatory elements; languages of gene regulation; dictionaries of regulatory languages; grammar of regulatory languages.

**For citation:** Spirov, A.V. (2023). Languages of gene regulation on the example of signal elements of promoters. *METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION*. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 98–129. DOI: 10.31249/metod/2023.04.06

## References

- Andersson, R., Sandelin, A. (2020). Determinants of enhancer and promoter activities of regulatory elements. *Nat. Rev. Genet.* 21(2), 71–87. <https://doi.org/10.1038/s41576-019-0173-8>.
- Ao, X., Li, Y., Wang, F., Feng, M., Lin, Y., Zhao, S., Liang, Y., Peng, N. (2013). The *Sulfolobus* initiator element is an important contributor to promoter strength. *J. Bacteriol.* 195(22), 5216–5222. <https://doi.org/10.1128/JB.00768-13>.
- Avsec, Ž., Weilert, M., Shrikumar, A., Krueger, S., Alexandari, A., Dalal, K., Fropf, R., McAnany, C., Gagneur, J., Kundaje, A., Zeitlinger, J. (2021). Base-resolution models of transcription-factor binding reveal soft motif syntax. *Nat. Genet.* 53(3), 354–366. <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00782-6>.
- Bentsen, M., Heger, V., Schultheis, H., Kuenne, C., Looso, M. (2022). TF-COMB – Discovering grammar of transcription factor binding sites. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 20, 4040–4051. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.07.025>.
- Brázda, V., Bartas, M., Bowater, R.P. (2021). Evolution of Diverse Strategies for Promoter Regulation. *Trends Genet.* 37(8), 730–744. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2021.04.003>.
- Buchler, N.E., Gerland, U., Hwa, T. (2003). On schemes of combinatorial transcription logic. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 100(9), 5136–5141. <https://doi.org/10.1073/pnas.0930314100>.
- Butler, J.E., Kadonaga, J.T. (2002). The RNA polymerase II core promoter: a key component in the regulation of gene expression. *Genes Dev.* 16(20), 2583–2592. <https://doi.org/10.1101/gad.1026202>.
- Dergai, O., Hernandez, N. (2019). How to Recruit the Correct RNA Polymerase? Lessons from snRNA Genes. 35(6), 457–469. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2019.04.001>.
- Dieci, G., Fiorino, G., Castelnuovo, M., Teichmann, M., Pagano, A. (2007). The expanding RNA polymerase III transcriptome. *Trends Genet.* 23(12), 614–22. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2007.09.001>.
- Dresch, J.M., Conrad, R.D., Klonaros, D., Drewell, R.A. (2023). Investigating the sequence landscape in the *Drosophila* initiator core promoter element using an enhanced MARZ algorithm. *PeerJ.* 11, e15597. <https://doi.org/10.7717/peerj.15597>.
- Eggeling, R., Roos, T., Myllymäki, P., Grosse, I. (2015). Inferring intra-motif dependencies of DNA binding sites from ChIP-seq data. *BMC Bioinformatics.* 16, 375. <https://doi.org/10.1186/s12859-015-0797-4>.
- Forquet, R., Pineau, M., Nasser, W., Reverchon, S., Meyer, S. (2021). Role of the Discriminator Sequence in the Supercoiling Sensitivity of Bacterial Promoters. *mSystems.* 6(4), e0097821. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00978-21>.
- Gama-Castro, S., Salgado, H., Santos-Zavaleta, A., et al., (2016). RegulonDB version 9.0: high-level integration of gene regulation, coexpression, motif clustering and beyond. *Nucleic Acids Res.* 44(D1), D133–143. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1156>.

- Gao, Z., van der Velden, Y.U., Fan, M., van der Linden, C.A., Vink, M., Herrera-Carrillo, E., Berkhout, B. (2021). Engineered miniature H1 promoters with dedicated RNA polymerase II or III activity. *J. Biol. Chem.* 296,100026. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA120.015386>.
- Haberle, V., Stark, A. (2018). Eukaryotic core promoters and the functional basis of transcription initiation. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 19(10),621–637. <https://doi.org/10.1038/s41580-018-0028-8>.
- Jamieson, A.C., Miller, J.C., Pabo, C.O. (2003). Drug discovery with engineered zinc-finger proteins. *Nat. Rev. Drug Discov.* 2(5),361–368. <https://doi.org/10.1038/nrd1087>.
- Jindal, G.A., Farley, E.K. (2021). Enhancer grammar in development, evolution, and disease: dependencies and interplay. *Dev. Cell.* 56(5), 575–587. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2021.02.016>.
- Junier, I., Unal, E.B., Yus, E., Lloréns-Rico, V., Serrano, L. (2016). Insights into the mechanisms of basal coordination of transcription using a genome-reduced bacterium. *Cell Syst.* 2, 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2016.04.015>.
- Kinkhabwala, A., Guet, C.C. (2008). Uncovering cis regulatory codes using synthetic promoter shuffling. *PLoS One.* 3(4), e2030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002030>.
- Klein, C.A., Teufel, M., Weile, C.J. et al., (2021). The bacterial promoter spacer modulates promoter strength and timing by length, TG-motifs and DNA supercoiling sensitivity. *Sci. Rep.* 11, 24399 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03817-4>.
- Koo, B.M., Rhodius, V.A., Campbell, E.A., Gross, C.A. (2009). Mutational analysis of Escherichia coli sigma28 and its target promoters reveals recognition of a composite – 10 region, comprised of an 'extended –10' motif and a core –10 element. *Mol. Microbiol.* 72(4), 830–843. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2009.06691.x>.
- Kutach, A.K., Kadonaga, J.T. (2000). The downstream promoter element DPE appears to be as widely used as the TATA box in Drosophila core promoters. *Mol. Cell Biol.* 20(13), 4754–4764. <https://doi.org/10.1128/MCB.20.13.4754-4764.2000>.
- Lal, A. (2022). Deciphering the regulatory syntax of genomic DNA with deep learning. *J. Biosci.* 47, 47. <https://doi.org/10.1007/s12038-022-00291-6>.
- Mathelier, A., Wasserman, W.W. (2013). The next generation of transcription factor binding site prediction. *PLoS Comput. Biol.* 9(9), e1003214. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003214>.
- Nakahashi, H., Kwon, K.R., Resch, W., Vian, L., Dose, M., Stavreva, D., et al., (2013). A genome-wide map of CTCF multivalency redefines the CTCF code. *Cell Rep.* 3(5), 1678–1689. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2013.04.024>.
- Paget, M.S. (2015). Bacterial Sigma Factors and Anti-Sigma Factors: Structure, Function and Distribution. *Biomolecules.* 5, 1245–1265. <https://doi.org/10.3390/biom5031245>.
- Pimmett, V.L., Dejean, M., Fernandez, C., Trullo, A., Bertrand, E., Radulescu, O., Lagha, M. (2021). Quantitative imaging of transcription in living Drosophila embryos reveals the impact of core promoter motifs on promoter state dynamics. *Nature Communications.* 12(1), 4504. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24461-6>.
- Qi, Z., Jung, C., Bandilla, P., Ludwig, C., et al., (2022). Large-scale analysis of Drosophila core promoter function using synthetic promoters. *Mol. Syst. Biol.* 18(2), e9816. <https://doi.org/10.15252/msb.20209816>.
- Ruff, E.F., Record, M.T. Jr, Artsimovitch, I. (2015). Initial events in bacterial transcription initiation. *Biomolecules.* 5(2),1035–1062. <https://doi.org/10.3390/biom5021035>.
- Savery, N.J., Lloyd, G.S., Busby, S.J.W., Thomas, M.S., Ebright, R.H., Gourse, R.L. (2002). Determinants of the C-Terminal Domain of the Escherichia coli RNA Polymerase  $\alpha$  Subunit Important for Transcription at Class I Cyclic AMP Receptor Protein-Dependent Promoters. *J. Bacteriol.* 184. <https://doi.org/10.1128/jb.184.8.2273-2280.2002>.
- Shen, C.-H. (2019). Gene Expression: Transcription of the Genetic Code, *Diagnostic Molecular Biology.* pp. 59–86. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802823-0.00003-1>.
- Shultzaberger, R.K., Chen, Z., Lewis, K.A., Schneider, T.D. (2007). Anatomy of Escherichia coli sigma70 promoters. *Nucleic Acids Res.* 35(3), 771–88. <https://doi.org/10.1093/nar/gkl1956>.



- Siebert, M., Söding, J. (2016). Bayesian Markov models consistently outperform PWMs at predicting motifs in nucleotide sequences. *Nucleic Acids Res.* 44(13), 6055–6069. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw521>.
- Sloutskin, A., Shir-Shapira, H., Freiman, R.N., Juven-Gershon, T. (2021). The Core Promoter Is a Regulatory Hub for Developmental Gene Expression. *Front. Cell. Dev. Biol.* 9, 666508. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.666508>.
- Tippens, N.D., Liang, J., Leung, A.K., Wierbowski, S.D., Ozer, A., Booth, J.G., Lis, J.T., Yu, H. (2020). Transcription imparts architecture, function and logic to enhancer units. *Nat. Genet.* 52(10), 1067–1075. <https://doi.org/10.1038/s41588-020-0686-2>.
- Weingarten-Gabbay, S., Segal, E. (2014). The grammar of transcriptional regulation. *Hum. Genet.* 133(6), 701–11. <https://doi.org/10.1007/s00439-013-1413-1>.
- Wenck, B.R., Santangelo, T.J. (2020). Archaeal transcription. *Transcription.* 11(5), 199–210. <https://doi.org/10.1080/21541264.2020.1838865>.

**Ильин М.В.<sup>1</sup>, Авдонин В.С.<sup>2</sup>  
О рубрике «Укладка (фолдинг) белка»<sup>3</sup>**

*Для цитирования:* Ильин М.В., Авдонин В.С. О рубрике «Укладка (фолдинг) белка» // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 130–132. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.07

Завершающий выпуск ежеквартальника «Метод» за прошлый год был посвящен тому, как молекулы стали знаками, сообщениями и дискурсом. Он содержал помимо короткой заметки о рубрике И.В. Фомина и статей Дж. Шермана, А.А. Шарова и С.В. Чебанова о связях между физикой, биологией и семиотикой еще и два принципиально важных реферата. Обобщенные в них статьи Г. Патти «Как молекула стала сообщением?» (1969) и Т. Дикона «Как молекулы стали знаками?» (2021) послужили отправным моментом и для прошлогодней, и для нынешней рубрики. Обе статьи Г. Патти и Т. Дикона – выдающиеся научные достижения. Они стали ключевыми вехами в понимании происхождения жизни, а тем самым и всякой эмергенции от возникновения Наблюдаемой Вселенной и нашей планеты до образования человеческого рода и создания искусственного интеллекта.

Нынешняя рубрика «Укладка (фолдинг) белка» по существу продолжает начатое год назад обсуждение проблем возникновения жизни, семиотики, а также человеческого мышления, языка и общения. Однако теперь внимание концентрируется на особенностях двойной спирали генома, а точнее на контурах его «скрученной конфигурации». Эта и подоб-

---

<sup>1</sup> **Ильин Михаил Васильевич**, доктор политических наук, профессор, главный научный сотрудник ИНИОН РАН, профессор-исследователь НИУ ВШЭ, чл. редколлегий журнала МЕТОД, mikhaililyin48@gmail.com

<sup>2</sup> **Авдонин Владимир Сергеевич**, доктор политических наук, ведущий научный сотрудник ИНИОН РАН, гл. ред. журнала МЕТОД, avdoninvla@mail.ru

<sup>3</sup> Материала рубрики готовились в том числе за счет гранта РНФ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН).

ные ей «скрутки» отражают и моделируют процессы возникновения и эволюции многих космических и земных явлений, жизни и биосферы, языка и мышления людей.

Прямой подсказкой для создания нынешней рубрики стало творчество двух замечательных ученых и друзей нашего издания. Это словацкая лингвистка и биосемиотик Людмила Лацкова, а ныне Беннет, которая не просто защитила диссертацию о фолдинге белка и опубликовала целую серию статей об этом, но фактически создала целое научное направление. Это также русско-американский биолог Алексей Шаров, который занят сейчас большим исследованием о происхождении жизни и которому во многом была посвящена предыдущая рубрика Метода. При этом Шаров также активно занимается биологической агентивностью, включая и аспекты, связанные с фолдингом белка.

Прошлогодняя и нынешняя рубрики МЕТОДА нацелены на разработку все более адекватных способов исследования расширенной эволюции с фокусировкой на междисциплинарном подходе, что включено в программу исследований проекта РНФ № 22-18-00383. За последние десятилетия подходы к происхождению и эволюции жизни радикально обновились. Об этом очень сжато и ясно написал в самом начале своей статьи о превращении молекул в знаки Терренс Дикон: «Когда Эрвин Шрёдингер (1944) размышлял над вопросом “Что такое жизнь?” с точки зрения физика, он сосредоточился на двух загадках: как организмы поддерживают себя в далеком от равновесия термодинамическом состоянии и как они хранят и передают информацию, определяющую их организацию. В своей метафоре аперiodического кристалла (aperiodic crystal) для представления о носителе этой информации он предвосхитил анализ хранения и передачи информации Клода Шеннона (1948) и открытие Уотсоном и Криком (1953) структуры двойной спирали молекулы ДНК. Поэтому к 1958 г., когда Фрэнсис Крик (1958) впервые сформулировал то, что он назвал «центральной догмой» молекулярной биологии (т.е. что информация в клетке движется от ДНК к РНК и белковым структурам, а не наоборот), было уже признано само собой разумеющимся, что молекулы ДНК и РНК являются «носителями» информации. Научным риторическим требованием (*fiat*)<sup>1</sup> стало считать непреложным (*legitimate*), что молекулы способны предоставлять информацию «о» других молекулах. К середине 1970-х годов Ричард Докинз в своей популярной книге «Эгоистичный ген» (1976) смог смело счесть это фактом и довести эту идею до логических следствий для эволюционной теории. За счет описания последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК как информации, а репликации ДНК – как ключевой определяющей особенности жизни, информация была сведена к шаблону, а

---

<sup>1</sup> Это слово произошло от латинского повелительного выражения *Fiat!* – *Да будет!* Соответствующее английское слово *fiat* обозначает некое безусловное требование. В данном случае имеется в виду безусловно принятая в науке истина.

интерпретация – к копированию. То, что могло поначалу выступить лишь некой метафорой (a metaphor), стало трудно отделить от химической действительности (the chemistry)» [Deacon, 2021].

Эти и подобные им наивные представления и образы зачастую превращаются в непреложные истины, которые существенно ограничивают или искажают научное познание крайне сложных процессов возникновения нашей галактики, планеты, биосферы и жизни на Земле, да и нас с вами с нашими способностями общаться, понимать самих себя и друг друга. В нынешней рубрике М. Ильин обсуждает этот феномен и характеризует его как речемыслительный или психовербальный просчет (psychoverbal fallacy). Конкретные же примеры подобных просчетов и способы их преодоления содержатся в последних статьях патриарха биосемиотики Говарда Патти и в статье Людмилы Бенетт. Помощь в подготовке рефератов Патти и переводе статьи Людмилы Беннет нам оказала Анастасия Любимова.

### **Список литературы**

Deacon T.W. How Molecules Became Signs // Biosemiotics. – 2021. – N 14. – P. 537–559. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09453-9>

**Ильин М.В.<sup>1</sup>, Авдонин В.С.<sup>2</sup>**

**About the section «PROTEIN FOLDING»**

For citation: Ильин М.В., Авдонин В.С. About the section «PROTEIN FOLDING». METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 130–132. DOI: 10.31249/metod/2023.04.07

---

<sup>1</sup> **Ильин М.В.**, doctor of political sciences, professor, chief researcher at INION RAN, research professor at HSE, member of the editorial board of the journal METHOD; [mikhaililyin48@gmail.com](mailto:mikhaililyin48@gmail.com)

<sup>2</sup> **Авдонин В.С.**, doctor of political science, leading researcher at INION RAN (Moscow, Russia), editor-in-chief of the journal METHOD; [avdoninvla@mail.ru](mailto:avdoninvla@mail.ru)

Любимова А.Д.<sup>1</sup>  
**Закрепление символа в процессе фолдинга:  
первичный биосемиозис  
(Реферат)**

**Реф. ст.:** Pattee H.H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // Biosemiotics. – 2021. – Vol. 14. – P. 1–8. – DOI:doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4; Pattee H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // Open Semiotics. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109. DOI: 10.31249/metod/2023.04.08

*Ключевые слова:* биосемиотика; семантика; генетический код; закрепление символа; фолдинг белка; ДНК; эпистемический срез; интерпретация.

*Для цитирования:* Любимова А.Д. Закрепление символа в процессе фолдинга: первичный биосемиозис // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 133–146. – *Реферат статей:* Pattee H.H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // Biosemiotics. – 2021. – Vol. 14. – P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>; Pattee H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // Open Semiotics. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.08

Говард Патти (Howard Pattee) выдающийся ученый в области фундаментальной биологии и биосемиотики. В фокусе его исследований находятся знаковые системы и символы в биологии, а также поиск всеобщего кода – генезиса всего. Реферат основан на материале двух статей за авторством Патти: «Закрепление символа предшествует интерпретации» («**Symbol Grounding Precedes Interpretation**»), опубликованной в 2021 г. в издании «Biosemiotics», и «Закрепление символа с помощью фолдинга: первичный биосемиозис» («**Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis**»), опубликованной в 2023 г. в журнале открытого доступа «Open Semiotics». В статье 2021 г. Патти откликается на попытку Терренса Дикона описать процесс интерпретации символов в терминах Чарльза Пирса [Deacon, 2021], затем представляя собственную альтернативу теории

---

<sup>1</sup> Любимова Анастасия Дмитриевна, стажер-исследователь ф-та управления и политики МГИМО (У), Москва, Россия, [fmorj.mln@gmail.com](mailto:fmorj.mln@gmail.com)

Дикона в статье 2023 г. Патти убежден, что интерпретация не может являться первичной ступенью семиозиса и в действительности следует за физическими преобразованиями символа. Автор излагает это так:

- «*I explain why interpretation evolved only later as a triadic intervention between symbols and actions. In all organisms the passive one-dimensional genetic informational symbol sequences are converted to active functional proteins or nucleic acids by three-dimensional folding*» [Pattee, 2021, p. 1].

- «Я объясняю, почему интерпретация развилась лишь позднее как триадическое взаимодействие между символами и действиями. Пассивные одномерные генетические информационные последовательности символов во всех организмах преобразуются в функциональные белки или нуклеиновые кислоты путем тройного складывания» [Pattee, 2021, p. 1].

### Код – генетический и символический

Центральный концепт в работах Патти – закрепление (*grounding*). Как известно, процесс закрепления лежит в основе создания молекулы РНК и последующего строительства ДНК. Патти соотносит данный принцип и алгоритмы конструирования генетического кода с семантическим знанием. Ученый напоминает, что еще до непосредственного открытия роли РНК/ДНК и принципов сворачивания белка в биосемиозисе высказывались предположения о функциональной роли ДНК как единицы о носителе информации [Pattee, 2021, p. 2–3]. Так, Артур Корнберг предполагал, что ДНК может напоминать пластинку с записанной на ней информацией, как о биологическом наследовании, так и о том, как эту информацию использовать. ДНК и вправду содержит как «синтаксическую информацию» о том, как ее обрабатывать и передавать, так и «семантическую» – например, о наследственных чертах [Kornberg, 1959]. Патти указывает, что знаковая система генома состоит из символов (= аминокислот белка) и правил (= законов физической химии) и формулирует эту идею следующим образом:

- «*A language consists of a small, fixed set of symbols (an alphabet) and rules (a grammar) in which the symbols can be catenated indefinitely to produce an unlimited number of meaningful or functional sequences (messages)*» [Pattee 2021, p. 1].

- «Язык состоит из небольшого фиксированного набора символов (алфавита) и правил (грамматики), в соответствии с которыми символы могут быть неограниченное число раз катенизированы для создания бесконечного множества значимых или функциональных последовательностей (сообщений)» [Pattee, 2021, p. 1].

Со своей стороны отметим, что подобная формулировка весьма приближительна и неточна. Она выдержана в духе первооткрывателей генома типа Ф. Крика. Патти принимает к рассмотрению только алфавитную группу языков, в то время как между разные группы «расходятся» в опре-

делении того, что является минимальной единицей плана выражения и каков его синтаксис. Группа иероглифических (такие как китайский) языков основана на совершенно другом принципе, нежели чем описанный Патти. В таких языках отдельные буквы-символы уже наделены смысловой нагрузкой, минуя этап словосложения. Таким образом, распространяя мысль Патти на все языковые группы, а не только алфавитные языки, мы могли бы заключить, что белок и образуемые им гены существовали бы изначально (= отдельные символы иероглифических языков уже являются семантической единицей), без складывающих их троекратно законов физической химии (= правил грамматики, сочетания отдельных элементов алфавита).

### Место фолдинга и интерпретации в жизни символа

Патти подчеркивает роль фолдинга (*folding*) в обоих типах феноменов (для белка – буквально сворачивание, для n-ой единицы информации – скорее, в значении компрессии). [Pattee, 2021]. Он справедливо отмечает рекурсивность фолдинга. Она находит свое выражение в двух следующих системах: *символ* → *действие* (*symbol-to-action*) и *действие* → *символ* (*action-to-symbol*).

Употребление системы «*символ* → *действие*» релевантно, когда символические указания (что он ранее обозначал как «грамматические правила») могут быть исполнены путем *физического* фолдинга, т.е. сворачивания, и последующей самосборки в более крупные функциональные структуры. Система «*действие* → *символ*» – эпистемологически обратный процесс. Она характеризует обнаружение *сенсорной* информации (отметим, что неизвестной остается судьба *несенсорной* информации), начавшейся с сигнала единичного макромолекулярного детектора-кодировщика (*folded macromolecular detector*). Детектор-кодировщик под действием внешнего *сенсорного* стимула производит единицу кода, т.е. молекулярный или электрический символ [Pattee, 2021].

Далее Патти проницательно замечает, что без предварительного процесса закрепления и возможного впоследствии фолдинга не может быть интерпретации – нельзя интерпретировать то, чего не существует, а существование любых феноменов, включая белки и геном начинается именно с их свертки и закрепления. Отсюда следует вывод о том, что интерпретация непременно следует за закреплением какого бы то ни было символа, что Патти определяет так:

- «*Only after a symbol is produced can the cell or organism interpret its function or meaning*». [Pattee, 2021, p. 4]
- «Только после того, как символ произведен, клетка или организм могут интерпретировать его функцию или значение» [Pattee, 2021, p. 4].

- «*This direct symbol-to-action conversion leaves no freedom or need for an interpreter or any interpretive process. Any interpretation occurs after the genetic symbol sequences are grounded or expressed*» [Pattee, 2021, p. 6].

- «Это прямое преобразование по схеме символ → действие не оставляет необходимости в интерпретаторе или каком-либо интерпретационном процессе. Любая интерпретация происходит после того, как последовательности генетических символов закреплены или выражены» [Pattee, 2021, p. 6].

Что примечательно, на этом основании Патти называет избыточной и, вследствие этого, неуместной риторику Чарльза Пирса об интерпретационных процессах на молекулярном уровне – и несмотря на кажущийся на первый взгляд радикальный характер этого утверждения, Патти предостроительно подчеркивает, что говорить об интерпретации символов бессмысленно. Причем Патти подчеркивает, что именно на уровне конструирования символов, начала их существования:

- «*Consequently, to interpret a sign or a text usually means to explain the meaning by other signs or texts... There is a similar basic problem for artificial intelligence. Computer systems have no natural physical dynamics, and consequently how bit sequences in computers can have function or meaning is a problem. It is called the symbol grounding problem, as described by Harnad (1990)...*» [Pattee, 2021, p. 4].

- «Следовательно, интерпретировать знак или текст обычно означает объяснить его значение с помощью других знаков или текстов... Аналогичная базовая проблема существует и для искусственного интеллекта. Компьютерные системы не имеют естественной физической динамики, и, следовательно, проблема заключается в том, как состоящие из битов последовательности в компьютерах могут иметь какие-либо функцию или значение. Она называется проблемой закрепления символов, что было описано Харнадом (1990)...» [Pattee, 2021, p. 4].

Далее автор описывает проблему закрепления символа (*symbol grounding problem*) применимо к искусственному интеллекту (ИИ) и ИКТ вообще. Возможно, ее решение может быть связано с пониманием роли фолдинга, который и обеспечивает «кодировку» информации, т.е. ее символическое сохранение и синтаксическую целостность. Соответственно человек, обучающий ИИ или же создающий компьютерные алгоритмы, уже передает закодированную информацию, ровно как ее передает свернутая молекула ДНК. В таком виде это говорит о еще большем сходстве между генетическим и семантическим кодом. Тем более, что им же наводящая на этот вывод информация приводится далее по тексту: «*Symbol vehicles function as a memory that can be copied, coded, and transmitted*» [Pattee, 2021, p. 5].

Тем не менее на наш взгляд неоднозначным выглядит его тезис, что для любой семантической информации необходимо физическое взаимодействие со средой (которого у компьютеров быть не может). Как тогда



продуцируются воспоминания / мысли / сны и другие следствия нейронной деятельности мозга (и запускающие ее электрические импульсы вполне могут находиться внутри объекта мышления)? Если стремиться сохранить целостность логики Говарда Патти, то они существуют как интерпретация уже однажды принятого сенсорного сигнала *извне*. Сам Патти этот момент не рассматривает.

### Синтаксис и семантика символа

Патти утверждает, что носители или, как порой говорят, «тела» знаков (*symbol vehicles*) безусловно должны содержать некоторую константу, «грамматические правила», олицетворяющие собой **синтаксическую** составляющую символов. Эта константа, статические правила не должны *полностью* зависеть от процесса интерпретации символов, которая в свою очередь представляет пространство множественных смыслов, **семантическую составляющую символов**: «*Symbol vehicles...must have inherent syntactic properties that are not “entirely dependent” on interpretation*» [Pattee, 2021, p. 4]. Несмотря на невозможность познания объективной реальности, intersubъективная реальность требует единства системы измерения и единого восприятия базовых систем координат.

Отметим, что свое воплощение эта идея нашла в создании применяемой в научном знании «СИ» – системы измерения и использующихся в ней единиц измерения (например, метрическая система и единица измерения «метр»). Таким образом исследователи «говорят на одном языке» и обеспечивают единство восприятия окружающей реальности. Конвенционально, базовые «объективные» системы измерения – это время и *физическое* пространство. Две системы, производные единицы измерения которых не подвержены интерпретационным искажениям.

Однако далее Патти пишет, что таких измерения для биосферы четыре, а для ИКТ – два; очевидно, что имеется в виду двоичный код. К сожалению, в статье не проясняется, имеет ли он в виду органы чувств в отношении биосферы и почему их в таком случае четыре, если всего известно пять. Вероятно, потому что зрение, а именно получаемая этим органом чувств информация, не является в строгом смысле физической. Здесь стоит вспомнить идею Патти о структуре коммуникации: первичной единицей взаимодействия (коммуникации в материальном мире) является молекула. Свет же не состоит из «молекул», которые Патти воспринимает в качестве физической составляющей коммуникации, поэтому не попадает под определение «агента» взаимодействия. Однако к этому вопросу еще стоит вернуться позднее.

Патти соглашается с Терренсом Диконом, на риторической полемике с которым построена его статья «*Symbol grounding precedes interpretation*», в необходимости интерпретации на определенном уровне взаимодействия.

Затем Патти повторяет тезис о необходимости некоторой константы, что, возможно, с содержательной точки зрения несколько излишне: «*These syntactical properties of symbol vehicles imply that they should be stable non-dynamic structures*» [Pattee, 2021, p. 5]. Заметим, что синтаксис носителей знаков (знаковых систем) и так является стабильным. Например, в используемом самим Патти алфавите (= знаковая система) грамматика и правила словосложения (= синтаксис) четко определены, а отклонения считаются признаком «неграмотности» и неприемлемы. Кроме того, в других местах работы он описывает ровно ту же исследовательскую проблему – разграничение синтаксической и семантической функции языка, и так уже существующее. К тому же, Патти вновь приводит в пример структуру языка как кода, указывая на первичность закрепления и последующего фолдинга (в данном случае – кодирования) как постулат, устраняющий выявленное им противоречие:

- «*By far, most meaning in any language arises from symbol sequences, not from individual signs or symbols*». [Pattee, 2021, p. 5]
- «В языке значительная часть смысла возникает из последовательностей символов, а не из обособленных знаков или символов» [Pattee, 2021, p. 5].

Можно заключить, что аналогия и онтологическая идентичность знаковых систем нарушена. Система синтеза белка и система построения предложений **не** действуют по единому принципу, в то время как обе по мнению Патти – структурно идентичные знаковые системы).

### Место интерпретации

Ключевое значение имеет следующее утверждение Патти: «*The symbol-to-action relation is inseparable*» [Pattee, 2021, p. 5]. Со своей стороны заметим, что оно сделано в духе проблемы первичности происхождения и напоминает известную дилемму «что появилось раньше: курица или яйцо?». Однако яйца и птицы, икра и рыба, гусеницы, куколки и бабочки – все это фазы жизненного цикла животных. Если мыслить в такой образности аналогий, то и символ, и действие явления одного порядка, но одно оказывается вполне «взрослой» фазой существования, а другое «личиночной». Можно ожидать, что образная аналогия жизненного цикла заставила бы Патти обсуждать, во-первых, «жизненные циклы» действий, а во-вторых, превращение несимволических действий в символические и обратно. Однако он этого не делает, хотя в его тексте немало замечаний о переключающихся циклах (switching cycles), процессах, сетях и т.п. Под переключением (switching) Патти понимает некое закрепляемое превращение. Жаль, что данную эвристику Патти лишь «зачаточно» наметил, но не довел до более развитой «взрослой» версии.

Патти возвращается к резкому различию отчетливо или «идеально» понимаемых символов с одной стороны и элементарных действий с другой. В том же стиле прямого и непримиримого столкновения «чистых» моделей в биосемиотике ведутся споры о примате либо информации как знаковой системы (что можно условно свести к знаку и его семантической ценности), либо физических процессов, сопряженных с функционированием белка (что можно свести к процессу создания, существования и передачи знака).

И действительно не имеет смысла говорить о значении, о семантике без понимания тех законов, сообразно которым функционирует информация, знаковая система вообще. Очень примечательны рассуждения Патти об искусственной модели и та разница в моделях *интерпретатора*, которую он замечает:

- для физики или другой науки интерпретатор – сам человек;
- для (био) семиотики интерпретатор – это своего рода трансцендентный механизм обработки информации внутри человека, где роль человека не сводится к роли интерпретатора в отношениях символ / материя [Pattee, 2021]).

Затем ученый утверждает, что прямое взаимодействие по оси «symbol-to-action» (а есть, как нам известно из прошлого раздела, и обратное) не только не подразумевает, но и не оставляет возможности задействовать интерпретационные процессы [Pattee, 2021]. Отметим, что интерпретация подразумевает *выбор*. Как уточняет Патти, интерпретация возникает в результате закрепления или использования последовательностей генетических символов (*Any interpretation occurs after the genetic symbol sequences are grounded or expressed*) [Pattee, 2021, p. 6].

На наш взгляд поиск ступени эволюции, на которой интерпретация начинает играть весомую роль – а как видно, на уровне генетического кода она действительно «избыточна», но в случае разбора языка – уже необходима с самого начала, вопреки мнению Патти. Важен поиск порога (threshold) появления в биосемиозисе выбора и интерпретации, однако вероятно существование не одного, а нескольких порогов уровней эволюции. Продолжая высказанный нами выше тезис: на уровне генетического кода как знаковой системы интерпретация не нужна, дилеммы выбора нет, всю информацию несет ДНК, а вот на уровне языка как знаковой системы уже нужна интерпретация, так как возможных переменных (входящие сенсорные сигналы, контекстные воспоминания = копии) слишком много.

### **Метафизика клетки**

Как замечает Патти, семиотическая терминология привычна и уместна на уровне анализа человека и социальных объектов, однако можно ли ее использовать на уровне клетки? Несмотря на существование биосемиотики,

выступающей связующим звеном, терминологические разъяснения относительно семантики клетки или даже молекул все равно требуются. Ученый позволяет себе метафизические рассуждения или, вернее, сомнения:

- «*There is no meaning of sign, icon and index if there is no interpreter, and assuming an interpreter at the origin of life would beg the question*» [Pattee, 2023, p. 103].

- «Знак, обозначение и указание не имеют смысла, если нет интерпретатора, а предположение о наличии интерпретатора при зарождении жизни крайне сомнительно».

Несмотря на то что Патти по ходу своего рассуждения не разделяет чрезмерное использование концепта интерпретации, действительно, знаки будут бессмысленными без интерпретирующего агента (или процесса интерпретации вообще). Знаки, как минимум генетического кода, существуют с самого зарождения жизни, однако параллельное существование интерпретатора – крайне сомнительно. С одной стороны, это соответствует тезису Патти о том, что интерпретация наследует процессу фолдинга или же кодирования. Однако, с другой стороны – интерпретатор (а лексически Патти указывает именно на интерпретатора), в соответствии с законами эволюции, не мог существовать с момента зарождения жизни. Тем не менее процесс интерпретации – как минимум, в закономерностях генетического кода, – эпистемологически вполне возможен. В свете идеи о множественности порогов можно было бы предложить рассматривать различные эволюционные типы интерпретации: восприятие информации в ходе химических процессов с помощью отдаленного предшественника интерпретации – копирования с изменениями, т.е. недоперсонализированными селекцией и выбором; протоинтерпретации, еще недоперсонализированной, но уже с целенаправленным использованием альтернатив; зачаточной интерпретации функциональных альтернатив, в основном еще неперсонализированной, но отчасти уже устойчиво локализуемой в органах и организмах; простейшей интерпретации с постепенным превращением функциональности в смутную значимость; вполне отчетливой персонализированной интерпретации с фиксацией персоной значимости как семиотически трактуемой функциональности и т.д.

Патти признает и описывает один из основных вопросов биосемиотики, но, к сожалению, не предлагая способа его разрешения, только наметив контуры его проблематики. Несмотря на туманность генезиса, структурная и функциональная составляющие процесса фолдинга предельно ясны. Это именно тот процесс, что обеспечивает передачу генетической информации и, как следствие, сохранение жизни. Он формулирует это так:

- «*The origin of the genetic code and genetic language is still the greatest mystery, but whatever the answer, it is a fact that for over 4 billion years of evolution linear copolymer folding has remained the essential symbol grounding process that enables 1-dimensional genetic symbolic descriptions to*

*construct and control the 3-dimensional molecular machinery of all life»* [Pattee, 2023, p. 99].

- «Происхождение генетического кода и генетического языка до сих пор остается величайшей загадкой, но каким бы ни был ответ, факт остается фактом: на протяжении более 4 миллиардов лет эволюции сворачивание линейных сополимеров оставалось важнейшим процессом закрепления символов, позволяющим одномерным генетическим символическим описаниям конструировать и контролировать трехмерные молекулярные механизмы всего живого».

Также в другой своей работе он ставил Пирсу в упрек его приверженность концепту **интерпретации** в семиотике и трудноразрешимость его применения. Как бы парадоксально это ни было, но в вопросе биосемиотики не существует консенсуса по поводу ее «синтаксиса» и «семантики». Вероятно, в своем завершенном виде эти концепты «эволюционно» складываются на более поздних ступенях развития процесса взаимодействия субъектов со средой и внешней информацией. С учетом этого, говоря о «протосемантике» и «протосинтаксисе», у которых отсутствует единая и совершенная форма, мы можем освободить себя от необходимости соглашения об их дефиниции. Подводя итог вышеизложенным рассуждениям, можем заключить:

- Все еще присутствуют разногласия по поводу создания, существования и передачи молекул белка, а также закономерностей в функциональной структуре генетического кода (= правила, синтаксис);

- Само определение сущности генетического кода (семантическая составляющая);

С научной точки зрения, просто отдать генезис знаковых систем «на откуп» случайности – недостаточно, поскольку очевидной будет слишком большая, а именно абсолютная власть непостоянных, и как следствие не определяемых в обобщенном виде переменных, конституирующих один конкретный знак. Логичным в этой связи будет привязать их определение не к генезису, а к их функционалу – к их достоверно известным и эмпирически наблюдаемым чертам: «*Symbols are identified by their objective function of carrying information*» [Pattee, 2023, p. 103]. Отсюда Патти приходит к крайне важному выводу: все сенсорные сигналы являются символами, поскольку несут какую-либо информацию. Один такой сигнал, несущий информацию, выступает как элементарная форма минипослания, а группа таких сигналов, пучки – уже послание с недодеференцированной структурой.

### Эпистемический срез (*epistemic cut*)

Вопрос интерпретации Патти повторно поднимает в пункте «How the disjoint subject and object are connected». Ранее он обозначил основную

задачу биосемиотики на современном этапе о поиске границы в биосфере, где «появляется» отведенное интерпретации место. Отметим, он приводит вполне разумные рассуждения и вводит новый термин – эпистемический срез (*epistemic cut*), служащий своеобразной линией водораздела между безусловно определенным и подверженным полисемантичности [Pattee, 2023]. Этот же термин служит для интерпретации физического воздействия или, как упоминалось ранее, «сенсорного ввода» информации извне по мнению Патти:

- «*Folding is an energy dependent dynamics that removes sequence degeneracy. There is no interpreter. The converse process of sensory input is initiated by folded macromolecules that convert external stimuli to molecular or electrical symbols. These symbol-matter events bridge the epistemic cut at all evolutionary levels*» [Pattee, 2023, p. 99].

- «Фолдинг – это энергозависимая динамика, которая устраняет вырождение последовательности. Здесь нет интерпретатора. Обратный процесс сенсорного ввода инициируется свернутыми макромолекулами, которые преобразуют внешние стимулы в молекулярные или электрические символы. Эти события «символ-материя» преодолевают эпистемический разрыв на всех эволюционных уровнях».

Заметим, что это звучит логично, однако такой детерминизм упускает одну из других неразрешимых загадок жизни – дихотомию разумное / неразумное, а не живое / неживое, так как в разумных существах, субъектах познания, происходят необъяснимые физикой процессы, например импульсы, порождающие воспоминания в состоянии покоя, перед сном – такие процессы можно *описать*, но не *объяснить*. Причем его толкование эпистемического раздела – не функциональное (= синтаксическое), что требуется, а, скорее, описательное (= семантическое). Под этим мы имеем в виду, что Патти описывает, чем является эпистемологический срез в сущности – это не система, а требование, императив к процессу коммуникации. Однако он не указывает его функций, не определяет механизм интерпретации символов, хотя до этого упрекал в схожем упущении других. Патти указывал на то, что интерпретационный подход плох именно этим, объяснением текста через другой текст, а не через его сущностные характеристики. Одновременно с этим, идея эпистемического среза помогает ответить на один наиболее трудноразрешимых вопросов в философии науки и, в частности, биосемиотики. С ним Патти связывает возможное разрешение дихотомии «объект / субъект», принимающей разные «облачения» в зависимости от дисциплины (наблюдатель / наблюдаемое, тело / разум, рационализм / эмпиризм и др.):

- «*The question is: How are the dissimilar categories of subjective symbolic descriptions and objective lawful material structures connected?*» [Pattee, 2023, p. 101].

- «Вопрос в том, как связаны несхожие категории субъективных символических описаний и объективных законных материальных структур?».

Концепт эпистемического среза в общих чертах появился с развитием квантовых исследований: в исследованиях в области квантовой физики необходимо различать два позиционных измерения. К слову, именно кванты, тоже являющиеся частью физической среды, из которой мы получаем информацию, представляются камнем преткновения в теории Патти. Так вот, переходя к двум, своего рода, линзам восприятия полученной информации, отличающихся семантически и синтаксически, как писал про эпистемический срез Патти:

- *Динамическое описание наблюдаемого квантового феномена (the quantum dynamical description of matter)* – получаемая непосредственно в ходе наблюдения информация, волатильная по своей природе и неотделимая от интерпретатора и процессе обработки информации получателем, отсюда **семантически** уникальная;

- *Закодированная запись наблюдаемых феноменов (the symbolic record of a measurement)* – как следует из названия, здесь акцент на способе обработки и хранении информации, с функцией ее последующей передачи; это требует наличия унифицированной знаковой системы и сопутствующего ей **синтаксиса**;

Этот процесс был описан им в свете необходимости разведения устройства наблюдения / наблюдателя и наблюдаемого объекта, знаковой системы в данном случае: «*The separation of the measuring device from the system being measured*» [Pattee, 2023, p. 104]. Необходимость сепарировать наблюдателя от наблюдаемого, субъект от объекта познания, является исследовательской аксиомой и одним из критериев соответствия полученной информации научному знанию.

*Копирование и кодирование* также, как и сенсорные сигналы, являются символическими информационными процессами, но они находятся вне «пространственной системы координат» и, как следствие, не имеют отношения к *физической* динамике, к кинетике. Следовательно информация, передаваемая при копировании и кодировании, **еще не закреплена (is not yet grounded)**. Оба процесса могут быть выполнены на практике и без признания эпистемического среза, однако имеют ряд эпистемологических требований, как замечает Патти: динамическое описание квантового феномена неосуществимо без интерпретатора; закодированная запись наблюдаемых феноменов должна быть осуществлена с использованием унифицированной знаковой системы и в соответствии с правилами ее применения.

Утверждая, что для копирования и кодирования не нужно преодолевать эпистемологический срез, он ставит здесь условный знак «-» – такая информация *еще не была* закреплена, и все же, кажется, здесь следует противоположный вывод, причем из логики самого Патти. Именно поскольку информация *уже была* когда-то закреплена, т.е. она уже известна в своем незакодированном или оригинальном виде, не требуется процесс закрепления и интерпретации, так как в памяти уже хранится копия этой инфор-

мации. К тому же, сам Патти проводил аналогию с формированием ДНК (**распознавание** → **копирование** → **воспроизведение**), отсюда информации необходимо быть уже когда-то закрепленной и распознанной, чтобы впоследствии быть воспроизведенной.

### Заключение

После себя работы Говарда Патти оставляют ряд вопросов и побуждают к поискам решения имеющихся «нестыковок» и логических упущений, что ни в коем случае не умаляет его заслуги как новатора в вопросах биосемиотики. Кроме того, на данный момент тезисы Патти основаны в значительной мере на аналогиях и их поиске в окружающей нас среде. В сравнении с тезисами по этой же проблематике, основательно подкрепленными теоретической и экспериментальной базой, работы Патти обладают несколько меньшей убедительной силой. Одним из возможных путей их улучшения может стать построение математических моделей и, что особенно актуально для концепта эпистемического среза, экспериментальных моделей физического преобразования химических веществ.

Кроме того, прослеживаются возможности для развития идей Говарда Патти – не лишенные основания тезисы, однако имеющие ряд требующих внимания неточностей и лакун. Так, не в полной мере точна аналогия с языком как знаковой системой и напрашивается вопрос «Каковы другие примеры эволюционно зародившихся знаковых систем, функционирующих по схеме генетического кода?» Под этой схемой подразумевается 3-этапный процесс преобразований, фолдинг. Язык подходит лишь частично, что для научного тезиса означает его полную непригодность как доказательства. Затем стоит вернуться к вопросу, заданным самим Патти: по большей части, возможно, все «живые» знаковые системы могут быть сведены к приведенной Патти модели, однако на каком «уровне сложности» становится необходимой интерпретация? Наконец, чтобы модель обратного закрепления работала, необходимо уйти от молекулярного материализма, так как описанное им работает только для материй с молекулярной решеткой (которые действительно реплицируются и *складываются*), а для квантовых материй аналогия не совсем точна.

Отдельно стоит отметить, что по модели репликации РНК-структуры работает человеческая память, (взаимодействие / физический стимул → создание воспоминания / создание копии → воспоминание / репликация копии), однако это уже было описано Иммануилом Кантом. Развитие этой идеи в биосемиотическом направлении было предложено Патти пока что в зачаточном состоянии, и она требует дальнейшего развития и устранения лакун. Как было показано, восполнить имеющиеся здесь пробелы может сопряженная с идеей множественности порогов концепция эволюции интерпретации.



С Говардом Патти нельзя не согласиться в вопросе о задаче биосемиотики: найти тот эволюционный уровень, где знаковой системе будет необходим процесс интерпретации для определения семиотической значимости высказывания:

- «*Biosemiotics needs to explain at what evolutionary levels the concept of interpretation makes sense*» [Pattee, 2021, p. 6].

- «Биосемиотика должна объяснить, на каких эволюционных уровнях концепция интерпретации уместна» [Pattee, 2021, p. 6].

- «*Biosemiotics still needs to show empirically at what level of organization the concept of a separate interpreting agent has objective meaning*» [Pattee, 2023, p. 108].

- «Биосемиотике еще предстоит эмпирически показать, на каком уровне организации концепция отдельного интерпретирующего агента имеет объективное значение».

Закрепление и фолдинг действительно предшествуют интерпретации – оно справедливо для рассмотренных им систем, хотя и в очень обобщенном виде. Кроме того, общая структура работы знаковых систем (язык / генетический код) кажется верной и логичной, и если схема функционирования информационных потоков была описана задолго до Патти, сближение языка и генетического кода, таким образом поиск *генезиса всего*, поистине является достижением биосемиотики.

Работы Патти оставляют после себя не отвеченным главный вопрос, **есть ли другие примеры знаковых систем, которые работают по схеме генетического кода?** Электрические «символы» сенсорной системы, условно относящиеся к зрительным или ряду тактильных взаимодействий, не имеют молекулярной / атомной структуры; к тому же, например, свет состоит из квантов, что не имеют ни массы, ни способности складываться, они первичная и конечная форма существования этой материи. Язык, как было продемонстрировано, подходит лишь частично, что не соответствует критерию научного знания и не позволяет дополнить этой идеей теорию всеобщего генезиса и поиска универсального кода.

### Список литературы

- Deacon T. How molecules become signs // Biosemiotics. – 2021. – Vol. 14. – P. 537–559. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09453-9>
- Kornberg A. The biologic synthesis of deoxyribonucleic acid // Nobel Lecture. – 1959. – December 11. – URL: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/kornberg-lecture.pdf>
- Pattee H.H. How Does a Molecule Become a Message? // Developmental Biology Supplement. – New York, 1969. – Vol. 3, № 1. – P. 16.
- Pattee H.H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // Biosemiotics. – 2021. – Vol. 14. – P. 1–8. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>
- Pattee H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // Open Semiotics. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109.

A.D. Lyubimova<sup>1</sup>

**Symbol Grounding by Folding: Primary Biosemiosis  
(Abstract)**

Abstract of articles: Pattee, H.H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // *Biosemiotics*. – 2021. – Vol. 14. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4> & Pattee, H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // *Open Semiotics*. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109.

**Keywords:** biosemiotics; semantics; genetic code; symbol grounding; protein folding; DNA; epistemic cut; interpretation.

**For citation:** Lyubimova, A.D. Symbol Grounding by Folding: Primary Biosemiosis. Abstract of articles: Pattee, H.H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // *Biosemiotics*. – 2021. – Vol. 14. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4> & Pattee, H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // *Open Semiotics*. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109. **METHOD:** Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 133–146. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.08

**References**

- Deacon, T.W. (2021). How molecules become signs *Biosemiotic*. Vol. 14. P. 537–559. – <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09453-9>
- Kornberg, A. The biologic synthesis of deoxyribonucleic acid. *Nobel Lecture*. – [www.nobelprize.org/prizes/medicine/1959/kornberg/lecture/?print=1](http://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1959/kornberg/lecture/?print=1)
- Pattee, H.H. (1969). How Does a Molecule Become a Message? *Developmental Biology Supplement*. Vol. 3, (1) P. 16.
- Pattee, H.H. (2021). Symbol Grounding Precedes Interpretation *Biosemiotics*. Vol. 14. P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>
- Pattee, H.H. (2023). Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis *Open Semiotics*. Vol. 4. P. 99–109.

---

<sup>1</sup> **Lyubimova Anastasia**, research intern, faculty of management and politics, MGIMO (U) (Moscow, Russia); e-mail: fmorj.mln@gmail.com

Беннет Л.<sup>1</sup>

Биосемиотический подход к ИИ.

Фолдинг как семиотическое моделирование.

Перевод с английского А. Любимовой<sup>2</sup>

*Аннотация.* Эта статья вгрызается (delves) в запутанные взаимодействия фолдинга (folding) и семиотики. Она служит мета-комментарием к обсуждению Говардом Патти статьи Терренса Дикона [Deacon, 2021] в отклике «Закрепление символа предшествует интерпретации» (Symbol Grounding Precedes Interpretation), развитом в статье «Закрепление символа с помощью фолдинга» (Symbol Grounding by Folding) [Pattee, 2023]. За счет включения в рекурсивную саморефлексию (recursive self-reflection) в статье тщательно исследуется понятие фолдинга как фундаментальной семиотической деятельности, прослеживая их связи с предположением (proposition) Патти о свертывании белка (protein folding) как глубинном основании (fundamental prerequisite) семиозиса и интерпретации. Центральным для этого обсуждения является утверждение, что фолдинг служит не только главной предпосылкой для семиозиса, но и мощным средством моделирования (potent modeling system). На основе междисциплинарного подхода в статье проясняется, как фолдинг становится (manifests as) инструментом моделирования знаковых систем в различных областях от биологии до синтаксиса. В частности, в статье подчеркивается растущее применение принципов фолдинга в сфере искусственного интеллекта. За счет навигации по запутанным областям знания, где пересекаются фолдинг и семиотика статья способствует более глубокому пониманию тех основополагающих механизмов, что лежат в основе процессов обозначения (signification) и интерпретации.

*Ключевые слова:* фолдинг; семиотика; фолдинг белков; семиотическое конструирование; искусственный интеллект; закрепление символов; синтаксис; Чарльз Сандерс Пирс.

*Для цитирования:* Беннет Л. Биосемиотический подход к ИИ. Фолдинг как семиотическое моделирование / перевод А. Любимовой // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из общественных дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 147–173. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.09

---

<sup>1</sup> Людмила Беннет (ранее Людмила Лацкова), международный институт семиотики, университет им. Палацкого, Оломоуц, Чешская республика.

<sup>2</sup> Любимова Анастасия Дмитриевна, стажер-исследователь ф-та управления и политики МГИМО (У) (Москва, Россия), fmoj.mln@gmail.com

## Введение

Данная статья является своего рода комментарием к его отклику Говарда Патти на работу Терренса Дикона [Deacon, 2021], который Патти назвал «Закрепление символа предшествует интерпретации» (Symbol Grounding Precedes Interpretation). Таким образом предлагается некое метасочинение, саморефлексивная рекурсивная статья о феномене фолдинга (folding), понимаемым как базовая семиотическая деятельность. Понятие рекурсивности выбрано не случайно. Сама по себе рекурсивность является синонимом складывания, что уже было прокомментировано Тайлером Беннеттом [Bennett, 2021]. В статье Патти речь идет о фолдинге белка как предварительном условии семиозиса и интерпретации. Хотя я уже выдвигала очень похожую идею в своей докторской диссертации [Lacková, 2018], защищенной перед двойной комиссией из Болонского университета (Италия) и Университета Палацкого (Чехия), между моим предложением и видением Патти о роли фолдинга в его семиотической модели есть некоторые разногласия. В этой статье я объясню, в чем я согласна и не согласна с Патти. Основная цель данной работы – представить фолдинг как минимальное условие для семиозиса, а также как моделирующую систему. Эта способность фолдинга к моделированию была применена в области ИИ. Была также предложена модель фолдинга белков для ИИ [Romanini, Lacková, 2023], см. также запись нашей беседы от 2022 года<sup>1</sup>. Фолдинг как моделирование будет объяснен на примерах из (1) фолдинга белков (protein folding), (2) искусственного интеллекта, (3) языкового синтаксиса (syntax in languages). В заключение статьи представлена (4) общая модель фолдинга как семиотического моделирования (model of folding as semiotic modeling).

## 1. Свертывание белков

Белки, мельчайшие функциональные единицы нашего организма, представляют собой сложные органические макромолекулы и, вероятно, уже существовали в самом начале жизни на Земле<sup>2</sup>. Всякое обсуждение

---

<sup>1</sup>Gathering in Biosemiotics / Romanini V., Lacková L. – 2023. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EWYdDZzZ-jM&t=30342s>

<sup>2</sup>Происхождение жизни на Земле остается научной проблемой. На данный момент наиболее вероятные предположения принадлежат к двум типам: жизнь порождена нуклеиновыми кислотами как источником кодов или белками как тем, что кодировалось кодами. Сторонников протеиновой гипотезы немало (are not rare), например, [Andras, Andras, 2005]. Помимо кодов и протеинов выдвигаются иные варианты, например, так называемая гипотеза Мира РНК (RNA world hypothesis) [Robertson, Joyce, 2010]. (Следует упомянуть также предположения Мира полиароматических углеводов или ПАУ (PAH world hypothesis) и внеземного происхождения жизни, о чем подробнее см.: [Шаров, 2023] – Прим. ред.

происхождения жизни или генетического кода прямо связаны с концепцией происхождения белков [Crick, 1968]. По сути, само предназначение генетического кода вытекает из необходимости синтеза белков. Наши клетки используют генетический код для сохранения «генетических текстов» («genetic texts»), содержащих информацию о том, какие белки как производить. Тайна жизни скрыта в синтезе белков.

Белки – это элементарные строительные блоки жизни (*blocks of life*). Они формируют клетки и обеспечивают все метаболические процессы. И в то время белки также не что иное, как свернутые нити<sup>1</sup> сотен аминокислот. Развернутая пептидная цепочка – это просто длинная нить молекул. Но в тот момент, когда она складывается и сгибается в компактный пучок (*folds and deflects into a compact bunch*), чудесным образом (*miraculously*) возникает трехмерная и функциональная структура, которая руководит всеми органическими функциями в наших телах<sup>2</sup>.

Белки стали важной темой для философских эссе с самого начала зарождения современной молекулярной биологии и генетики [Deleuze, Guattari, 1987]. Процесс перехода от линейности исходной пептидной цепи к результирующей структуре белка в высшей степени побуждал многие плодотворные философские дискуссии. Однако фолдинг белка, процесс получения конечной структуры белка из исходной пептидной цепи, до сих пор остается крайне непонятным, и правила, управляющие сворачиванием белка, ждут своего адекватного раскрытия<sup>3</sup>. Даже самое точное знание

---

<sup>1</sup> Имеются в виду «нитевидные» последовательности кодонов, базовых единиц белка. – *Прим. пер.*

<sup>2</sup> Очень глубокое и крайне важное замечание о несводимости белка к простой последовательности молекул, а тем более химических элементов, что характерно для многих физико-химических моделей белка, все еще господствующих в генетике и тормозящих ее развитие. Конечно, простые последовательности элементов легко дигитализируются и обрабатываются на компьютерах. Однако не только жизнь, но и напоминающие кодирование химические реакции осуществляются за счет сгибаний и сворачиваний последовательностей в конфигурации, которые как раз и добавляют то, что отличает формообразование или морфогенез, а в перспективе самотворение или автопоэз от полностью или подавляющим образом детерминированных случайных физических и химических процессов. Именно это обстоятельство важно для понимания различия между дигитальными (развернутыми в линию) и аналоговыми (свернутыми в конфигурацию, например, двойной спиралью) сообщениями и кодами. Это предложенное Антоном Маркошем с коллегами различение Людвига Беннет обсуждает и развивает далее в данной статье.

<sup>3</sup> Автор привычно следует философскому упрощению вопроса за счет умозрительной схемы *исходной* линии, которая затем скручивается в *окончательную* свертку двойной спирали. Нет никаких эволюционных и операционализуемых подтверждений того, что подобные переходы фактически происходили. Принимать подобный переход как факт побуждает задача преодоления противоречия между аналитически и экспериментально выделяемыми «линейными» последовательностями базовых единиц и действительными конфигурациями белковой скрутки в двойную спираль. Куда разумнее и практичнее следовать предлагаемой Говардом Патти логике многочисленных переключений [Pattee, 1969]. Тут генетика, действительно эмпирически показала примеры формирования уже конфигуриро-

химических и физических свойств пептидной цепи, способной сворачиваться, не слишком помогает в понимании вопроса, почему белки сворачиваются именно так, а не иначе [Holm, Sanders, 1997]. Химия и физика играют определенную роль, но, похоже, не они способны дать решающий ответ.

Требуются объяснения другого рода: термины *белковый код* (*protein code*), *белковая грамматика* (*protein grammar*) и *белковый синтаксис* (*protein syntax*) появляются потому, что ищется «некий код», а не только чисто химическое объяснение [Ji, 1999].

Эта ситуация очень напоминает расшифровку генетического кода. Хотя принимается допущение, будто сворачивание белков – это механизм, полученный в результате естественного отбора (for as much as it is believed that protein folding is a mechanism that was obtained by natural selection), признается, что он был достигнут в ходе эволюционной подгонки-согласования, а не в силу химической или физической необходимости (meaning that it was achieved by evolutionary convention rather than chemical or physical necessity).

Несмотря на то что в природе существует около пятисот различных типов аминокислот, только два десятка были отсортированы естественным отбором для участия в синтезе белка. После процесса перевода (*translation process*) аминокислоты связываются вместе, образуя цепочку, называемую пептидной цепью. Этот процесс является своего рода производством цепи аминокислот. Цепочка аминокислот служит материалом для белка, который впоследствии строится из цепочки аминокислот путем ее складывания. Для построения белка необходимы не все 20 аминокислот. Экспериментально с помощью искусственно синтезированных белков было доказано, что небольшая структура может быть построена из пептидной цепи, состоящей из комбинаций только трех типов аминокислот.

В соответствии с традиционным представлением процесс фолдинга белка состоит из трех этапов. В начале первичная структура (пептидная цепь) сворачивается с последующим образованием вторичных структур. Вторичные структуры соединяются друг с другом, образуя третичную структуру. Затем можно получить и четвертичную структуру, соединив вместе две или более третичные структуры<sup>1</sup>. В ходе образования белка

---

ванных молекул в более сложные конфигурации, включая полноценные белки. Это происходит в ходе описываемой Л. Беннет далее экспрессии генов. Для нее, однако требуется наличие базовой, т.е. исходной, а не только результирующей свертки генома. – *Прим. ред.*

<sup>1</sup>Принятие первичной, вторичной и третичной структур является произвольной данью самоочевидности трех измерений, хотя общая конфигурация двойной спирали генома образована рекурсивными кольцевыми извивами (recursive ringlike curves) в шести координатах смещения, скольжения, подъема, наклона, крена и скручивания (shift, slide, rise, tilt, roll, twist). Спиральные цепочки плотно «упаковываются» укладками или фолдингами и скрепляются внутренними связками (ligands). Возникает многомерное образование, возможно многих и даже не исключено меняющихся мерностей. Привычные трехмерные визуальные изо-

аминокислоты располагаются таким образом, что получаются вторичные структуры. Известны два основных типа вторичных структур<sup>1</sup>: альфа-спираль (*alpha-helix*), имеющая форму спирали, и бета-лист (*beta-sheet*)<sup>2</sup>, имеющий зигзагообразную форму. В процессе фолдинга третичной структуры аминокислотные остатки связывают между собой удаленные друг от друга части белка.

Белковые структуры – это привычные эволюционные регулярности (*evolutionary habits*), завершающие интерпретанты<sup>3</sup> синтеза белка (*final interpretants of protein synthesis*). Нерешенной проблемой современных исследований в области изучения белков остается процесс перехода от еще не свернутой последовательности к уникальной трехмерной конформации (*unique three-dimensional conformation*)<sup>4</sup>. Одна и та же аминокислотная последовательность (пептидная цепь) может формировать различные структуры в разных белках.

Неизбежно возникает вопрос: почему в одной ситуации последовательность сворачивается одним способом и образует соответствующие структуры, а в другой – другим способом и другие структуры? Или, иными словами, каков характер связи между последовательностью и структурой? Вопрос о взаимосвязи между аминокислотной последовательностью и белковой структурой требует обращения к термодинамике. Возможное термодинамическое объяснение заключается в том, что все потенциальные конструкции проверяются, чтобы найти наиболее благоприятную с точки зрения энергоемкости (*the energetically most favourable one*). Но количество всех возможных конструкций одной (*one*) пептидной цепи настолько велико, что остается загадкой (*mystery*), как эволюция создала стабилизированные белковые структуры. Сайрус Левинталь [Levinthal, 1969] подсчитал, что поиск нужной белковой структуры займет до  $5 \times 10^{34}$  секунд, или же  $1,6 \times 10^{27}$  лет. Огромная разница между расчетным и реальным временем фолдинга называется *парадоксом Левинталя*. Поиск нативной формы белка путем случайного перебора всех возможных структур занял бы невообразимо много времени, однако белки сворачиваются за секунды. Это

---

бражения и сама формула *двойная спираль* дают неполное представление и являются результатами редукции многомерного образования в трехмерную фигуру. – Прим. ред.

<sup>1</sup> Существует еще один тип – *полипролиновая спираль*, однако принцип ее взаимодействия и функционирования отличается от альфа-спирали и бета-листа, поэтому она не подходит для иллюстрации этой идеи. – Прим. ред.

<sup>2</sup> Встречается также название «бета-структура / бета-складчатость». – Прим. пер.

<sup>3</sup> Людмила Беннет использует пирсовский термин *интерпретант* (*interpretant*), обозначающий завершающую инстанцию смыслообразования. Часто интерпретант отождествляется также с итогом обозначения, со смыслом отдельного знака или слова. – Прим. ред.

<sup>4</sup> Термин *конформации* высвечивает и акцентирует вещьность, реифицированность и материальность белка, однако более адекватно отражают суть дела и *действия* (*agency*) термины *конформационные ансамбли* (*conformational ensembles*) и *конформационные изменения* (*conformational change*) – Прим. ред.

представляет собой реальный пример тайм-менеджмента и эргономики в биологической сфере: в природе существует лишь строго ограниченное число возможных конфигураций фолдинга. Фолдинг белков – это механизм, действующий по принципу привычки (*habit*), т.е. эволюционно выработанного сведения процесса фолдинга к небольшому количеству возможных складок (*folds*).

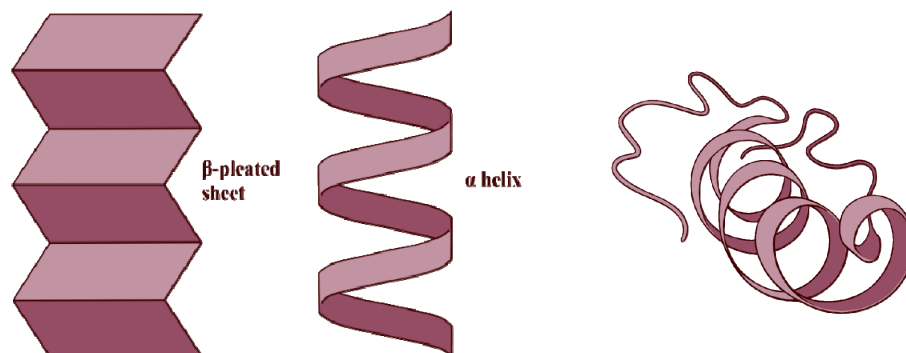


Рис. 1.  
Фолдинг белков, автор: Миа Левиова (Mia Lévyová).

В биосемиотике фолдинг белка никогда не привлекал большого интереса за исключением моих собственных работ и некоторых недавно появившихся статей [Lacková, 2019 b; Lacková, 2020; Beekman, Jochemsen, 2023]. Однако любопытно, что фолдинг белков занимал некоторых мыслителей из структурной семиологии. Например, Жиль Делез был очарован понятием фолдинга в целом, которому он посвятил эссе «*Фолдинг. Лейбниц и барокко*» [Deleuze, 1988]. Делез утверждает, что складка, а не точка, на самом деле является наименьшей единицей материи: «Единицей материи, наименьшим элементом, является складка, не точка, которая, в свою очередь, является не самостоятельной частью материи, а простым окончанием линии. Именно поэтому части материи – это массы или агрегаты, коррелирующие с упругой сжимающей силой (*correlative to elastic compressive force*). Разворачивание, таким образом, не противоположно сворачиванию, а сущностно следует за ним вплоть до следующего сворачивания» [Deleuze, 1988, p. 6].

Делез сравнивает процесс фолдинга континуума с оригами, искусством складывания бумаги. Фолдинг, в отличие от разрезания, сохраняет непрерывность бумажного листа. Возьмите журавлика оригами, аккуратно разверните его и расплющите; он превратится в квадратный лист бумаги. Возьмите белок и поместите его в органический растворитель или нагрейте; таким образом растворятся связи, отвечающие за процесс фолдинга, и



белок снова станет линией. Когда белок денатурируют, вторичная и третичная структуры изменяются, но при этом связи пептидной цепи, а именно связи между аминокислотами, остаются нетронутыми. Белки могут снова возвращаться в сложенное (или так называемое «нативное») состояние. Этот процесс называется *ренатурацией* (*renaturation*), он похож на разворачивание листа бумаги, который можно сложить снова, чтобы получить первоначального бумажного журавлика.

Когда речь заходит о фолдинге белков, Делез вновь комментирует само понятие складки в белках. В главе «*Геология морали с тысячи плато*» [Deleuze, Guattari, 1987] авторы придерживаются очень примечательного взгляда на молекулярную биологию молекулы ДНК и сам процесс синтеза белка. Делез говорит о выражениях (*expressions*) и содержаниях (*contents*) генетического кода, используя заимствованные у Луиса Елмслева (Louis Hjelmslev) термины и сочетая их с теми, которые он изобрел сам, в частности, *страты* (*strata*). Соответственно, он говорит о нуклеотических базах как о *плане выражения* (*expression plane*) и об аминокислотах как о *плане содержания* (*content plane*) органических страт.

## 2. Искусственный интеллект

Одним из самых актуальных вопросов для современного общества является вопрос действенности или агентивности (*agency*) ИИ, его интерпретационном потенциале и о проблеме закрепления символов (*symbol-grounding problem*). С точки зрения биосемиотики, интеллект – это не то, что свойственно лишь человеку. Изучение интеллекта необходимо начать с эволюционно более низких уровней того, что мы считаем интеллектом. В качестве минимальной единицы измерения «интеллекта» я выбрала белки как более мелкие семиотические агенты (*as the smaller semiotic agents*) [Lacková, Faltýnek, 2021]. На самом деле, мне кажется, стоит рассматривать понятия агентивности и интеллекта как взаимодополняющие (*coextensive*).

Современный ИИ основан на больших языковых моделях (*LLM*). Однако между *LLM* и органическим интеллектом (*natural intelligence*) есть огромная разница. В контексте биосемиотики было доказано, что органическая агентивность (соотносимая с органическим интеллектом) работает на совершенно иной основе, нежели чем механизм обработки больших данных (соотносимый с искусственным интеллектом). В природе, для того чтобы разобраться в окружающей среде, организму обычно требуется совсем немного данных, чтобы прийти к семиозису, к приданию миру смысла. Напротив, большее же количество данных может привести к большей путанице, и организм старается избегать этой путаницы. Другими словами, природе свойственно оптимизировать затрачиваемую энергию для достижения больших целей [Romanini, Lacková, 2023]. Говоря словами Пирса,

этот принцип экономии можно назвать прагматической максимой (*pragmatic maxim*): «Я рассуждаю не ради удовольствия от рассуждений, а исключительно для того, чтобы избежать разочарований и неожиданностей. Следовательно, я должен планировать свои рассуждения так, чтобы, очевидно, этих неожиданностей избежать» [Peirce CP, 2.173].

На современном этапе развития ИИ деятельность мозга и нейронную активность имитируют с помощью нейросетей. Однако, возможно, конкретно этот способ использования LLM не подходит для достижения оптимальных результатов. Чтобы избежать проблемы стохастических попугаев (*the problem of stochastic parrots*)<sup>1</sup> [On the Dangers, 2021] и, как следствие, разработать менее энерго- и экологически затратный ИИ, нам следует начать делать шаги к пониманию того, как работает интеллект в природе. Использовать следует не модели мозга, а модели наименьших разумных агентов (*the smallest intelligent agents*) – белков.

Идея воспринимать белки как минимальные единицы-носители интеллекта не является абсолютно новой. Можно сказать, что Пирс уже предлагал подобную гипотезу в его аналогии белок / фанерон (*protein-phaneron analogy*). Прежде чем продолжить, позволю себе кратко изложить понятие фанерона. Фанерон определяется Пирсом как «коллективный итог, который присутствует в сознании» (“*collective total that is present to the mind*”): «Под фанероном я понимаю совокупность всего, что так или иначе и в любом смысле присутствует в сознании (*in any sense present to the mind*), совершенно независимо от того, соответствует ли оно какой-либо реальной вещи или нет. Если вы спросите, присутствует когда и в чем разуме, то я отвечу, что оставляю эти вопросы без ответа, никогда не сомневаясь в том, что те черты фанерона, которые я обнаружил в своем разуме, присутствуют во все времена и для всех разумов (*those features of the phaneron that I have found in my mind are present at all times and to all minds*). На данном этапе развития основной мной науки фанероскопии, она занимается определением формальных составляющих фанерона [MS 1334].

С помощью словаря современной науки мы можем «перевести» фанерон как коллективный разум, интеллект или познание. Пирс распространяет понятие фанерона и на биологию, в частности, на белки: «... но что бы я ни думал относительно этих огромных супермолекул (*proteins* – Прим. автора), некоторые из которых содержат 15 тысяч молекул. И, возможно ли это с точки зрения законов химии или нет, они даже содержат группы противоположной полярности по отношению к остаткам вне этих групп (*groups of opposite polarity from the residues outside those*

<sup>1</sup> Проблема стохастических попугаев – *the problem of stochastic parrots* – предположение, что при машинном обучении в рамках LLM нейросеть действительно генерирует язык и воспроизводит знаки, однако не понимает их смысла, что влечет непомерные ресурсные затраты на поиск нужных комбинаций и необходимость использовать большие данные. – Прим. пер.

groups). Появляются ли подобные полярные субмолекулы в составе сложных неорганических кислот или нет, в любом случае их еще, конечно, слишком рано принимать во внимание при объяснении строения фанерона [MS 1334, MS 293, 1].

Так, уже Пирс в первом десятилетии двадцатого века провел аналогию между структурой белка и структурой человеческого разума. Как бы ни были ограничены знания о белках в ту эпоху, мы видим, что Пирс имел представление о сложности структуры белка, схожей со структурой интеллекта. Это придает нам еще больше смелости развить эту аналогию и применить ее к искусственному интеллекту, особенно в контексте биосемиотического проекта (*biosemiotic project*). Биосемиотический проект – это в некотором смысле критика неodarвинизма. В биосемиотике консенсусно признается, что неodarвинизм как концептуальная рамка необходим, но как всеобъемлющая теория – недостаточен для того, чтобы объяснить происхождение жизни или различия между жизнью и нежизнью (*the difference between life and non-life*).

Джеспер Хоффмайер (Jesper Hoffmeyer), один из основателей биосемиотики, отстаивает утверждение о недостаточности объяснительной силы неodarвинизма для решения этой задачи, опираясь на принцип дуализма кодов [Hoffmeyer, Emmeche, 1991]. Дуализм кода (*code duality*) – это главный, а может быть, и основополагающий принцип биосемиотики, который можно распространить в общую семиотику. Джеспер Хоффмайер пишет, что жизнь зависит от семиотического взаимодействия между аналоговой (*analog*) и цифровой (*digital*) кодировками одного сообщения, и функционируют они неразрывно друг от друга. Другими словами, мы наблюдаем дуализм кода.

Под цифровым кодом в биосемиотике обычно подразумевается ДНК, а под аналоговым – активная интерпретация (*active interpretation*). Цифровой код и такая интерпретация – вот что порождает множественность, морфологическую множественность форм (*morphological plurality of forms*) и вариаций в биологии. Дело не только в наличии как минимум двух кодов, но и в совместимости этих кодов. Фолдинг белка можно понимать именно как такое аналоговое кодирование. Во многих своих работах я утверждаю, что белки являются минимальной единицей семиотической агентивности [Lacková, 2020], поскольку они непосредственно участвуют в осуществлении биологических функций организма, метаболизма или других биологических процессов. Поэтому, исходя из условия, что интеллект изначально является биологическим или природным феноменом, мы можем рассматривать белки как модели искусственного интеллекта.

Теперь я хочу представить свою гипотезу о том, что большинство биологических кодов являются аналоговыми, а цифровое понимание генетического кода – это в некотором роде конструкт современной науки. Действительно, Антон Маркош предложил альтернативную интерпретацию природы того, что мы называем генетическим кодом, или, точнее сказать,

тех молекулярных процессов, которые мы называем трансляцией ДНК [Markoš, Faltýnek, 2011; Markoš, Švorcová, Lhotský, 2013]. Маркош предложил взглянуть на эти процессы не в цифровом, так сказать, виде, а скорее в аналоговом. Маркош утверждает, что чтение генетического сценария происходит по формам. То есть каждая, отдельно взятая *линейная* склейка генетических «букв» (*the singular linear concatenation of genetic «letters»*), т.е. нуклеобаз, не имеет решающего значения для чтения мРНК рибосомой. Напротив, решающее значение имеет общая форма всей совокупности «букв», их пространственная *нелинейная* организация. Тем самым рамка считывания рибосомы – это не различимые цифровые дискретные единицы, а своего рода генетическая «пиктограмма» (*genetic «pictogram»*).

Маркош применяет эту пиктографическую модель и к эпигенетическим меткам, где эпигенетические метки – не обязательно цифры, а скорее модификации формы генетической пиктограммы (рис. 2). Как видно на рисунке, считывание происходит не цифра за цифрой, а путем охвата (на рисунке буквально охвата «руками») всей совокупности последовательности. В этот момент уже не важно, что это – последовательность, а важна общая форма всей совокупности выбранной последовательности, т.е. это скорее пространственный объект (*spatial object*), чем последовательность, в точности как пиктограмма. Форма пиктограммы наводит нас на окончательную интерпретацию генетического сценария.

Рисунок Фатимы Цврковой (Fatima Cvrčková)<sup>1</sup>

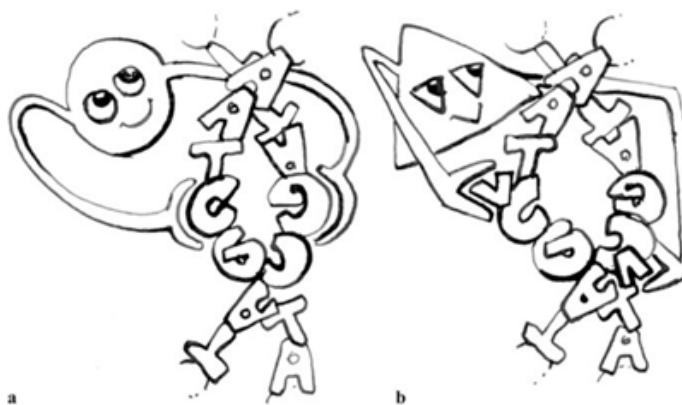


Рис. 2.

Генетическая пиктограмма (а) с эпигенетическими метками (б).

Форма слегка изменена благодаря эпигенетическим меткам.

<sup>1</sup> Пиктограмма за авторством Фатимы Цврковой // Vesmir.cz. – Режим доступа: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2015/02/uvodni-slovo-vsechno-je-epigenetika.html> (дата посещения: 29.09.2024).

Это очень инновационное предложение, которое, боюсь, не до конца понято и принято многими учеными. Конечно, оно идет вразрез с классической языковой метафорой жизни, которая в действительности является цифровой метафорой, где и фонемы, и нуклеобазы ДНК понимаются как цифры (цифровые дискретные единицы – *digital discrete units*). Языковая метафора жизни была разработана многими великими учеными и принесла много важных открытий [Zolyan, 2021; Zolyan, 2022; Zolyan, 2023 a; Zolyan, 2023 b]. Хотелось бы пояснить, что важность дигитальных моделей (*digital models*) неоспорима, но также очевидна и необходимость дополняющих их аналоговых моделей (*analog models*) для полноты биологических объяснений и, наконец, для нового поколения ИИ-моделирования.

Итак, чтобы соотнести сказанное с вопросом об искусственном интеллекте, предлагаю обратиться к книге Брайана Смита «Перспективы искусственного интеллекта» [Smith, 2019]. В этой книге описываются пределы прогресса современных исследований в области искусственного интеллекта, в основном касающиеся пределов вычислительных мощностей. Подобно языку или лингвистической метафоре жизни, метафора вычислений (*computational metaphor*) недостаточна для исследования интеллекта. Вычислительной метафоры недостаточно, и нужно что-то другое. Органический интеллект, в отличие от искусственного, связан с жизнью: субъективная вовлеченность, личные интересы, намерения и т.д.

Именно поэтому белки могут быть представлены в качестве моделей для исследования ИИ; белок – минимально возможный носитель интеллекта. Фолдинг белка – это начальная модель создания интеллекта (the minimal model for intelligence design). Фолдинг белка – объединение далеких и не связанных друг с другом частей последовательности линейной пептидной цепи, и теперь ИИ на самом деле способен воспроизвести подобный процесс. Фолдинг белка – это создание [прим. пер. – аналоговой] формы из линейной дискретной строки (creating a shape from a pure linear string), и делается это путем простого склеивания, соединения соседних частей строки. Именно это мы можем назвать минимальным (в отношении эволюционных ступеней) синтаксисом, о котором писал Патти, или минимально возможной моделью органического интеллекта. Поэтому я думаю, что при непредвзятом изучении фолдинга мы увидим, что оно обнажает присутствие дуализма кода. То есть одного цифрового, дискретного кода недостаточно для объяснения процессов фолдинга. Биология помогает общей семиотике, указывая на основополагающую роль дуализма кода, где цифровой представлен генетическим кодом, а аналоговый – интерпретациями самого прочтения генетического сценария (interpretations for the very reading of the genetic script).

### 3. Синтаксис

До сих пор мы рассматривали фолдинг как способ представления синтеза белка и развития более органического ИИ. Еще одна область, где может быть полезен фолдинг – это синтаксис естественных языков. На самом деле, синтактика, вероятно, была первой научной областью, где для конструирования действительно применялся фолдинг. От лингвистики до биологии, фолдинг – это еще одно терминологическое заимствование, по крайней мере, в чешском языке. В чешском языке термин *фолдинг* (*folding*), т.е. *свертка* (*skladba*) или *свертывание* (*skládání*), используется как в отношении синтаксиса – *větná skladba* (структура предложения), так и для описания синтеза белков – *skládání proteinů* (свертывание белков). Целый ряд исходно лингвистических терминов проникает в биологию: например, перевод (*translation*), транскрипция ДНК (*transcription of DNA*), чтение и интерпретация ДНК-скрипта (*reading and interpreting of the DNA script*), само понятие кода и т.д.<sup>1</sup>

В последних исследованиях, посвященных фолдингу, процесс сворачивания белков объясняется по аналогии с синтаксисом в естественных языках. В последние годы во многих научных работах, посвященных изучению белков, авторы используют синтаксическую аналогию (в основном используется синтаксис Хомского) [Gimona, 2006; A linguistic model, 2006; Kister, 2015; Lacková, 2019 a]. Понять, что привело биологов к использованию *синтаксической метафоры* (*syntactic metaphor*), довольно легко. Фолдинг белков – это процесс соединения более мелких единиц в более крупные и сложные. В синтаксисе клаузы или предложения (сложные единицы) описываются как комплексы слов (более мелкие единицы). Но синтаксис – это не просто механизм конструирования, соединяющий более мелкие единицы в более крупные. Предложение должно быть осмысленным, а внутри предложения более мелкие единицы связаны друг с другом таким образом, чтобы составлять связное и осмысленное целое. Упаковать весь смысл в некие маленькие единицы, выстроенные вместе – это, однако, чрезвычайно сложный процесс, который пытаются понять грамматисты и лингвисты.

Одна из величайших проблем грамматики – это разрешение отношений между звуком и смыслом, между *линейным* звуком и *нелинейным* смыслом. Как возможно, чтобы линейная последовательность звуков (или

<sup>1</sup> Следует быть крайне осмотрительным и аккуратным в использовании подобных терминов, т.е. исходно они служили лишь зыбкими метафорическими аналогиями и по большей части явно не соответствуют друг другу по сути дела. Нет спору, что различные биохимические образования или единицы можно не просто уподобить знакам, но и считать их своего рода генетическими знаками, однако не ясно, каким языковым знакам они соответствуют, а тем более называть их *буквами*, *словами* и даже *языком*, как это опрометчиво поспешил сделать Френсис Крик, создав немало проблем не только для генетики, но также для семиотики и лингвистики. – Прим. ред.

линейная последовательность письменных символов) представляла нелинейный смысл? Пример синтаксической репрезентации можно взять из синтаксической валентности (*valency syntax*) [Lacková, 2023]. Возьмем, к примеру, глагол «давать» (“*to give*”): давать что-то – это действие, которое невозможно осмыслить линейно, как последовательность “*субъект А дал объект В субъекту С*” [1] → “*субъект С получил объект В от субъекта А*” [2] → “*объект В передан субъекту С*” [3]. Действие передачи для всех участников взаимодействия происходит параллельно, по этой причине структурное синтаксическое представление валентности глагола является двумерным и нелинейным.

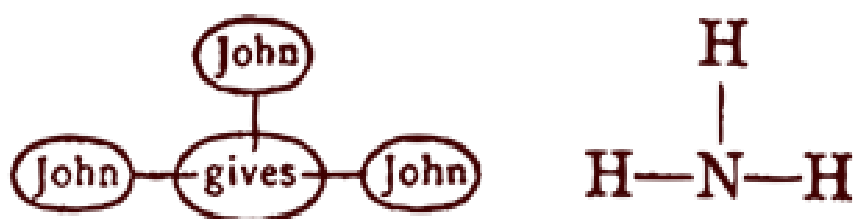


Рис. 3.

Вербальная валентность глагола «давать» («*to give*»)  
химическая аналогия, автор: Чарльз Пирс<sup>1</sup>.

В естественном языке линейная последовательность не объясняет смысл предложения «*Джон отдает Джона Джону*» («*John gives John to John*»); объяснить его может только структурное нелинейное представление (двумерная модель валентности глагола – *a two dimensional verb valence model*). Линейность – препятствие материального мира, заключающееся в том, что невозможно осуществить физическое наложение двух или более элементов одновременно (*impossibility to superimpose two or more elements simultaneously*), но не являющееся конститутивным или объяснительным принципом смыслообразования в лингвистике, как и в отношении создания функционала в белках. Теория валентности глагола связана со структурной лингвистикой и особенно с книгой Люсьена Тесньера «Элементы структурного синтаксиса» [Tesnière, 1959].

Очень похожие, если не идентичные, наблюдения были сделаны за несколько десятилетий до Тесньера Чарльзом Пирсом [Paolucci, 2006, Paolucci, 2010], хотя Пирс, как и Тесньер, использовал химическую валентность в качестве модели для представления валентности глагола. Идея невозможности линейно представить смысл предложения недавно была развита еще дальше: был совершен переход от двухмерности синтаксиче-

<sup>1</sup> Peirce C. The Logic of Relatives in Bisanz // The Monist. – 1897. – Vol. 7. – P. 161–217. – URL: <https://doi.org/10.5840/monist18977231>

ских деревьев к «трехмерной» модели свернутых синтаксических пространств (*folded syntactic spaces*). Этот подход был назван топологическим.

Порядок, утверждаемый современной лингвистикой, выглядит следующим образом: фонемы (выражение) связываются последовательно и образуют слова (содержание); слова связываются последовательно и складываются (*fold*) во флективный синтаксис (выражение) и образуют предложения (содержание). Аналогично, в классической языковой метафоре жизни молекулы ДНК (выражение) связываются последовательно и по комбинаторным правилам образуют молекулы РНК (содержание); молекулы РНК (выражение) связываются последовательно и образуют пептидные цепи из аминокислот (содержание), белковые цепи (выражение) складываются и образуют белки (содержание)<sup>1</sup>.

Это связано с концептом двойной артикуляции (*the concept of the double articulation*), которую разработал французский лингвист Андре Мартине [Martinet, 1967]: первая артикуляция делит звуковую цепочку (фонемы) на смысловые единицы (слова или морфемы), вторая артикуляция касается дальнейшего деления единичных смысловых единиц на бессмысленные элементы (фонемы). Результатом первой артикуляции является открытое множество элементов (*an open set of elements*), результатом второй артикуляции, напротив, является закрытое множество дискретных единиц, цифр. Как вы можете заметить, концепция двойной артикуляции Мартине идет в направлении от содержания (смысла) к выражению (звуку), а не наоборот. То есть, вопреки направлению, навязанному центральной догмой молекулярной биологии, и вопреки классической языковой метафоре жизни, где более мелкие дискретные цифры образуют более крупные единицы, создающие смысл.

В порядке Мартине смысл стоит на первом месте. В процессе усвоения языка, а также, вероятно, и в процессе его эволюции, на первом месте стоит смысл. Дискретные единицы появляются на более поздних этапах. В случае овладения языком дети сначала учат слова и их значения, только позже, в школьном возрасте, они изучают буквы. Следовательно, они узнают само понятие фонемы, или дискретной единицы, когда они учатся читать – им не нужно учиться различать фонемы, чтобы понимать значения слов. В случае эволюции языка, как было предложено в самых первых теориях эволюции языка [Condillac, 1746; Rousseau, 1781], будь то жесты или неартикулированные звуки, людям нужен был язык для передачи зна-

<sup>1</sup> Развертывание данной аналогии весьма эвристично, однако требует существенных оговорок и уточнений. Так, ельмслевские категории выражения и содержания с трудом соотносимы с биологическими явлениями, а уж тем более напрямую. Требуется создать условные абстрактные концепты как посредники подобного соотнесения, или же искать для таких концептов некие действительно существующие примитивы, например, на квантовом уровне, которые проще и химических, и лингвистических явлений, а потому могут опосредовать аналогии. Прямые аналогии, а тем более отождествления чреваты так называемые концептными натяжками.



чений, а не для упорядочивания значений в дискретные единицы. Таким образом, в контексте языковой эволюции различение (*distinguishing*) дискретных единиц (фонем), вероятно, появилось вместе с изобретением алфавита, т.е. очень поздно в ходе языковой эволюции.

Применение этой логики к ДНК, белкам и, наконец, к ИИ поможет нам понять все эти явления более целостно. Вопрос о том, существует ли фонема и как она существует, является очень важным онтологическим вопросом [Vachek, 1976], и точно так же абсолютно правомерно спросить, существует ли нуклеобазы в природе в виде дискретной единицы (*whether a nucleobase exists in nature in the form of a discrete unit*) [Markoš, Faltýnek, 2011].

Мы представили эту работу как рекурсивную, являющуюся рекурсивно свернутой не только по содержанию, но и по форме. Говоря о синтаксисе, мы не можем обойти вниманием понятие рекурсии как синтаксической операции. Ноам Хомский определил рекурсию как элементарный механизм вычислений для человеческого синтаксиса, а также уникальный вычислительный паттерн в человеческом когнитивном аппарате [Hauser, Chomsky, Fitch, 2002]. Хомский утверждал, что рекурсивная грамматика лежит в основе всех человеческих языков, поэтому эволюция языка будет происходить из рекурсии. Знаменитые разногласия между Хомским и Эвереттом привели к альтернативному предложению об эволюции языка не из рекурсии, а из символов [Everett, 2017; Everett, 2018]. Эверетт основал свою теорию на примере языка пираха, который он считал лишенным рекурсии. Хотя исследование Эверетта чрезвычайно актуально и важно для изучения эволюции языка, его аргумент об отсутствии рекурсии в языке пираха не был полностью принят по той основной причине, что у нас нет точных знаний об этом языке. Как отмечает Михаил Ильин, «трудно достоверно судить об этом, основываясь только на публикациях Эверетта (...). Возможно, какие-то маркеры или обычаи общения были просто не замечены. Во всяком случае, логономические конструкции точно не учитывались» [Ильин, 2023, р. 60]. Несмотря на интересное наблюдение Эверетта и романтическую ноту его общего исследования в Амазонии, его аргументация не была достаточно убедительной, чтобы доказать гипотезу о символах, предшествующих рекурсии. Складывание как рекурсия, рекурсивное круговое аутопоэтическое движение складки можно наблюдать как в языке, так и в синтезе белка. Ильин объединяет эволюцию человеческих когнитивных способностей, эволюцию языка и биотическую эволюцию через саму концепцию рекурсии [Ильин, 2020], см. также [Paolucci, 2022, Paolucci, 2023]. Предложение Патти о складывании, предшествующем семиозису, действительно очень хорошо согласуется с видением Ильина о рекурсии как элементарном механизме возникновения и эволюции. Ильин предлагает типологию рекурсивных движений в виде трех основных рекурсивных движений и трех вариаций: «Способы возникновения и эволюции явлений по сути своей просты. Их можно свести к очень немногим ключевым инструментальным ремеслам или «хитростям».

Три из них – самые простые: рекурсия (движение назад в виде разворота), замыкание (завершение перехода назад) и перенос (связывание начального и завершающего моментов движения). Еще три – чуть более изощренные вариации тех же принципов: репликация (серия возвратов), конвергенция (множественные замыкания в результирующую сложность) и аутопоэз (последовательный переход в новое чаемое состояние)» [Plyin, 2020, p. 9–10].

Типология и терминология Ильина открывают широкие возможности для дальнейших исследований рекурсии и фолдинга как общих механизмов моделирования. С помощью инструментария Ильина мы можем моделировать любые семиотические явления в терминах примитива фолдинга<sup>1</sup> (fold).

#### 4. Фолдинг как моделирование

В этой статье я попыталась представить фолдинг как механизм *семиотического моделирования* (*semiotic modeling*), взяв в качестве примера механизм сворачивания белка. В заключение давайте подробнее рассмотрим, что на самом деле означает понятие моделирования (*modeling*) и как мы можем разграничить его от другой семиотической или биологической терминологии. Здесь я хочу вдохновиться недавней работой моего мужа Тайлера Беннетта [Bennett, 2023]. В ней он проводит различие между ограничениями моделирования и ограничениями *информативной функции* (*informational capacity*), вдохновляясь советской кибернетикой [Zalizniak, Ivanov, Tорогов, 1962] и киберсемиотической теорией Сорена Бриера [Brier, 2008]. По мнению Бриера, больше информации не значит больше смысла, и, как предполагает Беннетт, большие возможности моделирования влекут за собой уменьшение количества информации.

Это означает, что акцентировать внимание на «**информации**» («**information**») будет не таким продуктивным или, точнее сказать, «**смысл**» («**meaning**») более важен для семиотики. Иногда больше информации приводит к меньшей смысловой нагрузке, и это, несомненно, имеет отношение к тому, что уже было сказано по вопросу ИИ о стохастических попугаях и LLM (по сравнению с органическим интеллектом). Вместо насыщения (*feeding*) языковых моделей бесконечно длинными линейными последовательностями языковых данных, можно попытаться сконструировать эти последовательности, сложить их (fold them).

Фолдинг как механизм конструирования обладает специфической особенностью пространственности (*spatiality, dimensionality*), что вообще-то характерно для графов и диаграмм (здесь я имею в виду, в частно-

<sup>1</sup> Русский неологизм в виде практически чистого этимона, простейшего образования, служащего источником формирования слов типа русских, любимых Пушкиным форм *топ* (конский топ) – то ли именной, то ли глагольной основы словообразования. – Прим. ред.

сти, экзистенциальные графы Пирса – *Peirce's Existential Graphs*). Тайлер Беннетт использует примеры карт и диорам для прототипического пространственного моделирования (*prototypical spatial modeling*). Только пространственные модели способны охватить исключенные промежуточные значения (*the excluded middle*), т.е. они не требуют строгих дискретных значений, определенных в терминах бинарных отношений «0/1 или черное / белое» [прим. пер. – оригинальное «*either-or*» нельзя перевести на русский язык с сохранением бинарности категорий, поскольку на русский они переводятся лексически идентично – «или / или»]. Пирс объясняет этот вид моделирования, моделирование континуума, математически, в виде спора о знаменитом Дедекиндовом сечении (*Dedekind cut*)<sup>1</sup>: «Лично я полностью согласен с Джеймсом и против мнения Дедекина: я считаю, что в существующем континууме не может быть реально существующих точек, и что если бы точка была помещена в континуум, то это было бы нарушением непрерывности материи (*continuity*). Конечно, существует возможная, или потенциальная, точка-координата, где бы ни находилась точка, но то, что только *может быть* (*which only may be*), будет, безусловно, неопределенным, и как таковое, и в перспективе, и даже при проведении мысленного эксперимента, и оно таковым [прим. пер. – неопределенным, гипотетическим] и является. Следовательно оно не подчиняется закону противоречия (*the principle of contradiction*), по примеру того, как отрицание признака «может быть» («*may-be*»), конечно, будет «должно быть» («*must-be*»). Я имею в виду, что если «*S может быть P*» – ложно, то «*S должно быть не-P*» – истинно). В этом свете в своем нынешнем виде это допущение не подчиняется и принципу исключенного среднего (*the principle of excluded middle*) [Peirce CP, § 6.182].

Если представить континуум как непрерывную линию, то дедекиндовское понимание рассечения линии состоит в том, что точка рассечения, граница между частями в отношениях друг к другу (двумя частями линии), всегда должна быть отнесена только к одной из двух частей, чтобы всегда быть сведенной к определенной индивидуальной, [прим. пер. – не подразумевающей материального наложения] сущности (*reduced to a determined individual entity*). Для Пирса же точка пересечения не принадлежит ни одной из двух частей, или, скорее, принадлежит им обеим [Paolucci, 2004, p. 125], поэтому она создает логический парадокс нарушения закона исключенной середины (*the law of the excluded middle*).

---

<sup>1</sup> Дедекиндово сечение – это метод, используемый в математике для построения вещественных чисел из рациональных. Он назван в честь немецкого математика Рихарда Дедекина (Richard Dedekind), который ввел это понятие в XIX в. Идея заключается в том, чтобы обеспечить строгую основу для действительных чисел, определив их в терминах рациональных чисел, с которыми легче работать. – Прим. ред.



Рис. 4.

Раздел линии по Пирсу и Дедекинду<sup>1</sup>:  
 Сверху – раздел по Пирсу (AB, CD),  
 снизу – раздел по Дедекинду (AP, D or A, PD).

Если представить континуум как непрерывную плоскость, то отдельные точки, принадлежащие к линии границы (линии отсечения), всегда должны быть, согласно Дедекинду, отнесены только к одной из двух частей, причастных к точке (**A** или **B**). Напротив, для Пирса разделение непрерывной поверхности на две части приводит не только к двум различающимся частям, но и к третьей части, которая считается принадлежащей обоим частям, другими словами, третья часть не определена и существует в условном режиме, так как может быть отнесена либо к **A**, либо к **B**.

Паолуччи объясняет, как возможно сосуществование непрерывности (*continuity*) и прерванности (*discontinuity*) и как бинарные оппозиции (*binary oppositions*) возможны даже в рамках пирсовской теории континуума. Идея **фолдинга континуума** заключается в том, что когда континуум сворачивается (*folds*), он ни в коем случае не нарушает своей непрерывности, он просто *сворачивается*: «Из континуума и в континууме, никогда не нарушая его непрерывности, можно создавать явления прерванности (*discontinuity effects*), которые и порождают оппозиционные отношения (*opposition relations*)» [Paolucci, 2004, p. 135].

Фолдинг как механизм конструирования может стать шагом в будущее, позволяя сосуществовать эксклюзивным терминам, что оказывается чрезвычайно полезным в сегодняшней реальности, в которой мы живем, – виртуальной, расширенной, цифровой, но все еще *аналоговой* (digital but still analog).

## 5. Рассуждение

В работе Патти [Pattee, 2021] фолдинг белка представлен в качестве частного случая феномена закрепления символов (*symbol grounding*), в свою очередь предшествующего интерпретации. Тем самым Патти устанавливает связь между машинным семиозисом и молекулярным семиози-

<sup>1</sup> См. также: [Reasoning and the Logic, 1992, p. 39–41].

сом, за тем лишь исключением, что он не хочет называть это «семиозисом». Проблема закрепления символа решается, по мнению Патти, функцией складки (*fold*). Патти хочет, чтобы и молекулярный, и технологический уровень были четко определены как несемиотические области, поскольку те, как он их определяет, относятся к процессу интерпретации (*interpretation*).

Конечно, эти два феномена сосредоточены на подступы к семиозису: на нижнем и верхнем порогах (иначе говоря, это прото- (*proto-signs*) и тардо-знаки (*tardo-signs*), [см. Bennett, 2021 а, р. 191–204]; см. также [Lacková, Faltýnek, 2021], и хорошо бы отличать их от полноценного семиозиса. Однако я хотела бы не согласиться с Пэтти по вопросу интерпретации, по поводу чего он уверен, что само понятие интерпретатора (*interpretant*) не должно использоваться в биосемиотике и вообще не помогает объяснить какие-либо биологические явления. Прежде всего, если мы исключим интерпретатора и интерпретацию из семиозиса, трудно будет говорить о семиозисе вообще. Я вижу много сходства между аргументацией Патти и аргументацией Барбьери: оба автора делают почти одинаковые заявления о бесполезности понятия интерпретатора и теории Пирса в целом, представляя своего рода ненаучную интерпретацию теории Пирса (some kind of a non-scientific interpretation of Peirce's theory).

На мой взгляд, это всегда было в какой-то степени парадоксально, и с тех пор, как я была магистрантом, я всегда вела дискуссии с Барбьери на эту тему. Для меня это особенно парадоксально, потому что Пирс сделал свою карьеру прежде всего в естественных науках, особенно в химии, математике и логике. Он также разработал очень важную эволюционную теорию (1998) [см. Švorcová, Lacková, Fulínová, 2023]. Семиотическая теория Пирса – это не что иное, как развитие его уникальной логики, изложенной им в форме экзистенциальных графов (*Existential Graphs*).

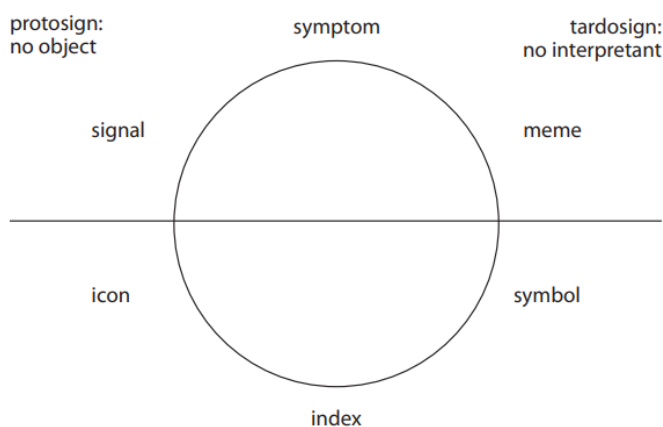


Рис. 5.  
Прото-знаки и тардо-знаки.

Прежде всего, позвольте мне прокомментировать понятие прото- и тардо-знака, установленное Тайлером Беннеттом [Bennett, 2021 a]. Как видно на рисунке (Рис. 5), квазизнаки (как прото-, так и тардо-знаки) визуализируются в верхней части диаграммы и характеризуются отсутствием одного из компонентов знака. В случае **тардо-знака** отсутствующим объектом является **интерпретатор**, и это следует понимать в связке с понятием симулякра.

Если теория прото-знаков уже имеет определенную традицию в семиотике и биологии, то теория тардо-знаков – новое изобретение Беннетта, созданное для целей критики идеологии (**ideology critique**). В случае **прото-знака** недостающим элементом является **объект**, и это частично вытекает из теории прото-семиозиса Шарова и Вехкаваары [Sharov, Vehkavaara, 2015], где прото-семиозис определяется как акторность с пониженной способностью к репрезентации (*agency with reduced representation capacity*).

Таким образом, учитывая репрезентативный характер объекта в знаковом отношении, в прото-семиозисе объект отсутствует, в знаковое отношение вступают только репрезентамен (*representamen*) и интерпретатор (*interpretant*)<sup>1</sup>.

Итальянский биолог Джорджио Проди первым ввел понятие прото-семиозиса. Он определил прото-семиозис как осуществление выбора (*choice making*). Дискуссия между Эко и Проди о семиозисе на клеточном уровне получила известность в академических кругах и достигла кульминации в 1986 г. на семинаре НАТО «Семиотика клеточной коммуникации в иммунной системе» (*the NATO Advanced Research Workshop on The Semiotics of Cellular Communication in the Immune System*), который проходил в Чокко, Лукка, Италия, в 1986 г. Доклады Эко, Проди и других семиотиков и иммунологов доступны в сборнике материалов этой конференции [The Semiotics of Cellular Communication, 2013].

Эко не соглашался с отнесением семиозиса к низшим формам жизни, но в конце концов иммунологи убедили его признать, что на клеточном уровне можно говорить о некоем элементарном семиозисе [Eco, 1990, p. 228]. Однако Эко сомневался в том, что клетки могут иметь варианты интерпретации, отказываясь приписывать им свойство многозначности. Он утверждал, что способ коммуникации и взаимодействия клеток с окружающей средой работает по **схеме стимул → реакция** (***stimulus-response scheme***), а не по принципу выбора, т.е. интерпретации. Видение

<sup>1</sup> Такое определение прото-знака, конечно, зависит от интерпретации теории Пирса. В такой интерпретации Пирса объект (динамический и непосредственный) – это объект семиозиса, определенный в терминах репрезентации, а не объект «объективной реальности». – Прим. авт.

Проди было несколько иным, и он предложил пространство  $C^1$  (he proposed the Space C), т.е. возможность выбора, например, при взаимодействии фермента с субстратом.

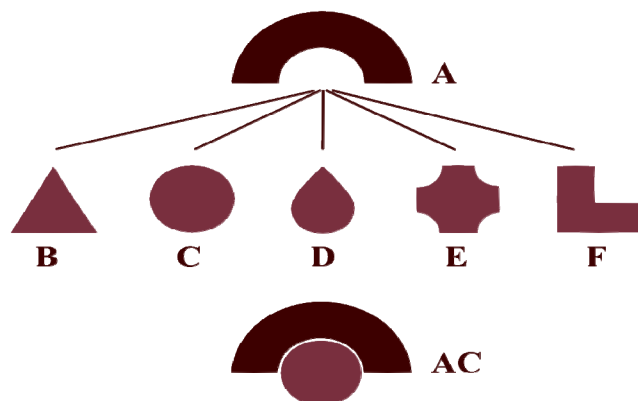


Рис. 6.

Взаимодействие энзима (А, субъект) с субстратами (В, объект) как модель протосемиозиса<sup>2</sup>.

В заключение Патти определяет фолдинг белка как закономерный процесс, не требующий интерпретации. В этой статье мы увидели, что фолдинг белка – очень сложный механизм, который невозможно объяснить с помощью чистой физики или химии (см., например, *парадокс Левинтала*). Он кажется закономерным в силу эволюционной привычки. Белковые структуры – это продукт эволюции. Точно так же значения, придаваемые словам, кажутся законными благодаря эволюции языка, которая создала прочную привычку (a strong habit), способную вести себя как закон, и эти законы даже записаны: достаточно открыть любой словарь. Для Пирса законы рождаются из привычек, как диады рождаются из триад. Некоторые органические процессы можно квалифицировать как истинные ананкастмы (genuine anancasms) или вырожденные агапасмы (degenerate agapasms). Пирс также ввел понятие конечного интерпретанта (final interpretant), где трудно провести четкое различие между конечным интерпретантом и законом. Я считаю, что это относится и к фолдингу.

Критически рассматривая понимание фолдинга, предложенное Говардом Патти, данная работа проливает свет на точки схождения и расхождения с существующей литературой по теме, включая предыдущие работы автора. На разнообразных примерах, начиная от фолдинга белков,

<sup>1</sup> *The Space C* (Space of interpretation options) подразумевает пространство множественных интерпретаций, вариативность и выбор осмысления. – Прим. пер.

<sup>2</sup> См. также: [Cimatti, 2000, p. 52].

заканчивая лингвистическим синтаксисом и далее, подчеркивается значение фолдинга не только как минимально необходимой предпосылки для семиозиса, но и как мощного механизма конструирования (the significance of folding as ... a potent modeling system has been underscored).

Кроме того, применение принципов фолдинга в искусственном интеллекте подчеркивает его актуальность в современных междисциплинарных исследованиях. Интегрируя идеи из различных дисциплин и завершая рассмотрение комплексной модели фолдинга Клаудио Паолуччи в рамках семиотического континуума, данные рассуждения способствуют более глубокому пониманию сложного взаимодействия между фолдингом и моделированием. В конечном итоге это рассуждение побуждает к дальнейшему исследованию непомерного влияния фолдинга как фундаментального процесса, лежащего в основе построения и интерпретации смысла (underlying the construction and interpretation of meaning) в различных областях.

### Список литературы

- Шаров А.А. Возникновение и эволюция жизни во Вселенной // МЕТОД: Московский ежеквартальный труд из общественных дисциплин: ежекварт. науч. изд. / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. XX–XX. DOI: 10.31249/metod/2023.04.02 (настоящее издание)
- A linguistic model for the rational design of antimicrobial peptides / Christopher Loose, Kyle Jensen, Isidore Rigoutsos, Gregory Stephanopoulos // *Nature*. – 2006. – Vol. 443. – P. 867–869. – URL: <https://doi.org/10.1038/nature05233>
- Andras P., András C. The origins of life: The 'protein interaction world' hypothesis: Protein interactions were the first form of self-reproducing life and nucleic acids evolved later as memory molecules // *Medical hypotheses*. – 2005. – Vol. 64. – P. 678–688. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2004.11.029>
- Beekman W., Jochemsen H. The Biosynthesis of Proteins for Nano Engines as a Normative Process // *Biosemiotics*. – 2023. – Vol. 16. – P. 441–455. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-023-09540-z>
- Bennett T. A presentation for Biosemiotics Glade. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bCTdWfqVWs0&t=587s> (дата посещения: 11.04.2024).
- Bennett T. The general semiotics module and slovenská semiotická skupina // *Culturologica Slovaca*. – 2023. – Vol. 2. – P. 71–87.
- Bennett T.. Detotalization and Retroactivity: Black pyramid semiotics. – Tartu: Tartu University Press, 2021. – 236 p.
- Bolshoy A., Lacková L. Illusions of Linguistics and Illusions of Modern Synthesis: Two Parallel Stories // *Biosemiotics*. – 2021. – Vol. 14, № 1. – P. 115–119. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09429-9>
- Brier S. *Cybersemiotics: Why Information is not Enough!* Toronto Studies in Semiotics and Communication– Toronto: University of Toronto Press, 2008. – 498 p.
- Cimatti F. The circular semiosis of Giorgio Prodi // *Sign Systems Studies*. – 2000. – Vol. 28. – P. 351–378. – URL: <https://doi.org/10.5840/signsystems20002836>
- Condillac de E. *An essay on the origin of human knowledge.*– Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 221 p.



- Deleuze G., Guattari F. A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia, Bloomsbury Revelations. – Bloomsbury Academic, 1987. – 629 p.
- Deleuze G.. The Fold, Continuum impacts. – Bloomsbury Academic, 1988. – 196 p.
- Deacon T. How molecules become signs // Biosemiotics. – 2021. – Vol. 14. – P. 537–559. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09453-9>
- Eco U. Semiotics and the Philosophy of Language, Advances in semiotics. – Indiana University Press, 1984. – 254 p.
- Everett D. How language began: The story of humanity's greatest invention. – Profile Books. 2017. – 352 p.
- Everett D.L. The role of culture in language and cognition // Language and Linguistics Compass. – 2018. – Vol. 12(11). – P. e12304
- Fomin I. Poti-Interpretants, Sin-Interpretants, and Legi-Interpretants: Rethinking Semiotic Causation as Production of Signs // Biosemiotics. – 2023. – Vol. 16. – P. 197–218. – <https://doi.org/10.1007/s12304-023-09535-w>
- Gimona M. Protein linguistics – a grammar for modular protein assembly? // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2006. – Vol. 7. – P. 68.
- Hoffmeyer J, Emmeche C. Code-duality and the semiotics of nature // On Semiotic Modeling– De Gruyter Mouton / Anderson M., Merrell F. (ed.). – Berlin: Boston, 1991. – P. 117–166.
- Holm L., Sanders C. New structure – novel fold? // Structure. – 1997. – Vol. 5, № 2. – P. 165–171. – URL: [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(97\)00176-7](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(97)00176-7)
- Ilyin M. How to do languaging (s), language games and languages // Linguistic Frontiers. – 2023. Vol. 6 No. 2. – P. 55 – 63.
- Ilyin M. Emergence and advancement of basic human capacities // Linguistic Frontiers/ – 2020/ – Vol. 3, N 2. – P. 3–20. – DOI: 10.2478/lf-2020 – 0010
- Ji S. The linguistics of DNA: words, sentences, grammar, phonetics, and semantics // Annals of the New York Academy of Sciences. – 1999. – Vol. 870. – P. 411–417. – <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb08916.x>
- Hauser M.D., Chomsky N., Fitch W.T. The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve // Science – 2002. – 298 (5598). – P. 1569–1579. – <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>
- Lacková L. A Linguistic Approach to Protein Folding. Toward Semiotic Description of Living Systems; Palacký University, Olomouc. – 2018. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/349043013\\_A\\_Linguistic\\_Approach\\_to\\_Protein\\_Folding\\_Towards\\_a\\_Semiotic\\_Description\\_of\\_Living\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/349043013_A_Linguistic_Approach_to_Protein_Folding_Towards_a_Semiotic_Description_of_Living_Systems) (дата посещения: 03.03.2024).
- Lacková E. Folding of a Peptide Continuum. Semiotic Approach to Protein Folding // Semiotica. – 2020. – Vol. 233. – P. 79–90. – URL: <https://doi.org/10.1515/sem-2018-0116>
- Lacková E. Structural semiology, Peirce, and biolinguistics // Semiotica. – 2023. – Vol. 253. – P. 1–21. – URL: <https://doi.org/10.1515/sem-2022-0058>
- Lacková E. Towards a Processual Approach in Protein Studies // Biosemiotics. – 2019. – Vol. 12. – P. 469–480. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-019-09370-y>
- Lacková, E. Faltýnek, D. The Lower Threshold as a Unifying Principle between Code Biology and Biosemiotics // Biosystems. – 2021. – Vol. 210. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104523>
- Lacková E. Logic of Relatives as Syntax in the Genetic Code // Bisanz E. (Ed.) Peirce Studies 10 th Applied Interdisciplinary Peirce Studies. – Texas Tech University: Peter Lang, 2019. – P. 189–204. – URL: <https://doi.org/10.3726/b15697>
- Levinthal C. How to fold gracefully? // Mossbauer spectroscopy in biological systems / P. DeBrunner, J. Tsibris, E. Munck (eds). – University of Illinois Press, 1969. – P. 22–24.
- Markoš A., Faltýnek D. Language metaphors of life // Biosemiotics. – 2011. – Vol. 4. – P. 171–200. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-010-9097-6>

- Markoš A., Švorcová J., Lhotský J. Living as Language: Distributed Knowledge in Living Beings // Stephen J. Cowley, Frédéric Vallée-Tourangeau (Ed.) *Cognition Beyond the Brain*. – Springer, 2013. – P. 71–92. – DOI: 10.1007/978-1-4471-5125-8\_5
- On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? / E.M Bender, T. Gebru, A. McMillan-Major, S. Shmitchell, et al. // *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '21)* // Association for Computing Machinery. – 2021. – P. 610–623. – URL: <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Paolucci C. Lucien Tesnière autore della logica dei relativi. Su alcune in-sospettate corrispondenze tra Peirce e lo strutturalismo // *E/C*. – 2006. – P. 1–16.
- Paolucci C. Piegature della continuità. Semiotica interpretativa e semiotica generativa // *Versus. Quaderni di studi semiotici*. – 2004. – Vol. 97. – P. 111–150.
- Paolucci C. *Strutturalismo e interpretazione*. – Bompiani, 2010. – 529 p.
- Pattee H.H. How Does a Molecule Become a Message? // *Developmental Biology Supplement*. – New York, 1969 – Vol. 3, № 1. – P. 16.
- Pattee H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // *Biosemiotics*. – 2021. – Vol. 14. – P. 561–568. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>
- Pattee H.H. Symbol Grounding by Folding: The Primary Biosemiosis // *Open Semiotics*. – 2023. – Vol. 4. – P. 99–109.
- Peirce C. *Chance, Love, and Logic: Philosophical Essays*. – Nebraska: University of Nebraska Press, 1998. – 720 p.
- Peirce C. The Logic of Interdisciplinarity. The Monist-Series / Bisanz E. (Ed.). – Berlin: Akademie Verlag, 2009. – 455 p.
- Robertson P., Joyce G. The Origins of the RNA World // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. – 2010. – Vol. 4. – P. 3608–3608. – URL: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a003608>
- Romanini V., Lacková E. Morphoesthetics in artificial intelligence: proteins versus machines // *Semiosis*. – 2023. – Vol. 1, № 1. – P. 125–139. – URL: <https://doi.org/10.53987/2178-5368-2023-12-08>
- Reasoning and the Logic of Things: The Cambridge Conferences Lectures of 1898 / Charles Sanders Peirce / Ketner E. (Ed.). – Harvard University Press, 1992. – 289 p.
- Rousseau J. *Essai sur l'origine des langues*. – Editions La passe du vent, 2012. – P. 501–543.
- Sharov A., Vehkavaara T. Protosemiosis: agency with reduced representation capacity // *Biosemiotics*. – 2015. – Vol. 8, № 1. – P. 103–123. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-014-9219-7>
- Smith. B. *The Promise of Artificial Intelligence. Reckoning and Judgment*. – The MIT Press, 2019. – 184 p.
- Švorcová J., Lacková E., Fulínová E. Evolution by habit: Peirce, Lamarck, and teleology in biology // *Theory in Biosciences*. – 2023. – Vol. 142. – P. 411–422. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12064-023-00406-z>
- Tesnière L. *Elements de Syntaxe Structurale*. – Klincksieck, 1959. – 782 p.
- The Collected Papers of Charles Sanders Peirce / Ch. Hartshorne, P. Weiss (eds.). – Cambridge: Harvard University Press, 1958. – 5092 p.
- The non-static aspect of the synchronically studied phonological system. In *Selected writings in English and general linguistics* / J. Vachek (eds), J. Vachek. – *Janua linguarum: Series maior, Academia*, 1976. – 451 p.
- The Semiotics of Cellular Communication in the Immune System / Sercarz E. et al. – Nato ASI Subseries H: Springer; Berlin; Heidelberg, 1988. – 335 p.
- Zalizniak A., Ivanov V., Toporov V. Structural typological study of semiotic modeling systems / D. Lucid (eds). – Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press, 1977.
- Zolyan S. From matter to form: the evolution of the genetic code as semio-poesis // *Semiotica*. – 2022. – P. 17–61. – URL: <https://doi.org/10.1515/sem-2020-0088>

- Zolyan S. On the context-sensitive grammar of the genetic code // Biosystems. – 2021. – Vol. 208. – P. 235–240. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104497>
- Zolyan S. On the Grammar and Grammatical Categories of the Genetic Code // Approaches to Biosemiotics / J. Coca, C. Rodríguez (eds.). – Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid, 2023. – P. 41–58.
- Zolyan S. On the minimal elements of the genetic code and their semiotic functions (degeneracy, complementarity, wobbling) // Biosystems. – 2023. – Vol. 231, № 11. – URL: <https://doi.org/104962,10.1016/j.biosystems.2023.104962>.

**Ludmila Bennett<sup>1</sup>**

**A Biosemiotic Approach to AI. Folding as semiotic modeling**

*Translated from English by A. Lyubimova<sup>2</sup>*

*Abstract.* This article delves into the tangled interactions of folding and semiotics. It serves as a meta-commentary on Howard Pattee's discussion of Terrence Deacon's article [Deacon, 2021] in the response «Symbol Grounding Precedes Interpretation», developed in the article «Symbol Grounding by Folding» [Pattee, 2023]. Through the incorporation of recursive self-reflection, the article scrutinizes the notion of folding as a fundamental semiotic activity, tracing its connections to Pattee's proposition of protein folding as a fundamental prerequisite for semiosis and interpretation. Central to this discussion is the claim that folding is not only a fundamental prerequisite for semiosis but also a potent modeling system. Taking an interdisciplinary approach, the article clarifies how folding manifests as a tool for modeling sign systems in fields ranging from biology to syntax. In particular, the article highlights the growing application of folding principles in the field of artificial intelligence. By navigating the tangled terrain where folding and semiotics intersect, the article contributes to a deeper understanding of the underlying mechanisms that underlie the processes of signification and interpretation.

*Keywords:* folding; semiotics; protein folding; semiotic construction; artificial intelligence; symbol fixation; syntax; Charles Sanders Peirce.

*For citation:* Bennett L. A Biosemiotic approach to AI. Folding as semiotic modeling. Translated by A. Lyubimova // METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 147–173. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.09

## References

- Andras, P. and C. András (2005) «The origins of life – The 'protein interaction world' hypothesis: Protein interactions were the first form of self-reproducing life and nucleic acids evolved later as memory molecules», *Medical hypotheses*, 64 (Feb. 2005), pp. 678–88.
- Beekman, W., Jochemsen, H. (2023). The Biosynthesis of Proteins for Nano Engines as a Normative Process. *Biosemiotics* 16, 441–455 <https://doi.org/10.1007/s12304-023-09540-z>
- Bender, Emily M., Timnit Gebru, Angelina McMillan-Major, and Shmargaret Shmitchell.(2021) On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? In *Proceedings of the*

---

<sup>1</sup> **Ludmila Bennett** (former Ludmila Lacková), international semiotics institute, Palacký University in Olomouc, Czech Republic

<sup>2</sup> **Anastasia Lyubimova**, research intern, faculty of management and politics, MGIMO (U) (Moscow, Russia); [fmorj.mln@gmail.com](mailto:fmorj.mln@gmail.com)

- 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 610–623. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Bennett, Tyler (2023). The general semiotics module and slovenská semiotická skupina. *Culturologica Slovaca*, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre (in print).
- Bennett, Tyler, (2021 b). A presentation for Biosemiotics Glade: <https://www.youtube.com/watch?v=bCTdWfqVWs0&t=587s>
- Bennett, Tyler. (2021 a) Detotalization and Retroactivity: Black pyramid semiotics. Tartu University Press.
- Bolshoy, Alexander & Lacková, Ludmila (2021): Illusions of Linguistics and Illusions of Modern Synthesis: Two Parallel Stories. *Biosemiotics* 14 (1), pp. 115–119.
- Brier, S. (2008). *Cybersemiotics: Why Information is not Enough!* Toronto Studies in Semiotics and Communication. University of Toronto Press.
- Cimatti, Felice (2000). The circular semiosis of Giorgio Prodi. *Sign Systems Studies* 28:351–378.
- Condillac de EB, trans H Aarsleff (2001 (1746)). *An essay on the origin of human knowledge*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Deleuze, G. (1988) *The Fold, Continuum impacts*, Bloomsbury Academic.
- Deleuze, G. and F. Guattari 1987 *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*, Bloomsbury Revelations, Bloomsbury Academic.
- Eco, U. (1984) *Semiotics and the Philosophy of Language*, *Advances in semiotics*, Indiana University Press.
- Fomin, I. (2023). Poti-Interpretants, Sin-Interpretants, and Legi-Interpretants: Rethinking Semiotic Causation as Production of Signs. *Biosemiotics* 16, 197–218 <https://doi.org/10.1007/s12304-023-09535-w>
- Gimona, M. (2006) «Protein linguistics – a grammar for modular protein assembly?», *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 7 (Jan. 2006), 68 Holm, L. and C. Sanders 1997 «New structure – novel fold?», *Structure*, 5, 2, pp. 165–171, doi: 10.1016/S0969-2126(97) 00176-7
- HOFFMEYER JESPER and EMMECHE CLAUS (1991): *Code-Duality and the Semiotics of Nature*, pp. 117–166 in: Myrdene Anderson and Floyd Merrell (eds.): *On Semiotic Modeling*. Mouton de Gruyter, Berlin and New York/
- Ji, S. (1999) «The linguistics of DNA: words, sentences, grammar, phonetics, and semantics». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 870, pp. 411–417.
- Lacková Ludmila (2018): *A Linguistic Approach to Protein Folding. Towards a Semiotic Description of Living Systems*. PhD dissertation, Palacký University, Olomouc, Czech Republic ([https://www.researchgate.net/publication/349043013\\_A\\_Linguistic\\_Approach\\_to\\_Protein\\_Folding\\_Towards\\_a\\_Semiotic\\_Description\\_of\\_Living\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/349043013_A_Linguistic_Approach_to_Protein_Folding_Towards_a_Semiotic_Description_of_Living_Systems)).
- Lacková Ludmila (2019 a): *Logic of Relatives as Syntax in the Genetic Code*. In Bisanz, E.: *Peirce Studies 10 th Applied Interdisciplinary Peirce Studies*. Peter Lang: Texas Tech University, pp. 189–204. <https://doi.org/10.3726/b15697>.
- Lacková, L. (2019 b). *Towards a Processual Approach in Protein Studies*. *Biosemiotics* 12, 469–480. <https://doi.org/10.1007/s12304-019-09370-y>
- Lacková, Ludmila (2020): *Folding of a Peptide Continuum. Semiotic Approach to Protein Folding*. *Semiotica* (233), pp. 79–90, 10.1515/sem-2018-0116.
- Lacková, Ludmila (2023): *Structural semiology, Peirce, and biolinguistics*, *Semiotica* 2023 (253), pp. 1–21. <https://doi.org/10.1515/sem-2022-0058>
- Lacková, Ludmila, Faltýnek, Dan (2021): *The Lower Threshold as a Unifying Principle between Code Biology and Biosemiotics*, *Biosystems* 210 (1), <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104523>
- Levinthal, Cyrus. (1969) «How to fold graciously», in Mossbauer spectroscopy in biological systems, ed. by P. DeBrunner, J. Tsibris, and E. Munck, University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Loose, C. et al. (2006) «A linguistic model for the rational design of antimicrobial peptides»/ *Nature*, 443, 7113 (Oct. 2006), pp. 867–869, doi: 10.1038/nature05233.
- Markoš, A. & Faltýnek, D. (2011) *Language metaphors of life*. *Biosemiotics* 4:171–200 DOI: 10.1007/s12304-010-9097-6

- Markoš, A., Švorcová, J. & Lhotský, J. (2013) Living as Linguaging: Distributed Knowledge in Living Beings. S.J. Cowley, F. Vallée-Tourangeau (eds.), *Cognition Beyond the Brain*, S.J. Cowley, F. Vallée-Tourangeau (eds.), *Cognition Beyond the Brain*, Springer, 71–92
- Paolucci, C. (2004) «Piegiatura della continuità. Semiotica interpretativa e semiotica generativa», *Versus. Quaderni di studi semiotici*, 97, pp. 111–150.
- Paolucci, C. (2006) «Lucien Tesnière autore della logica dei relativi. Su alcune in-sospettate corrispondenze tra Peirce e lo strutturalismo», *E/C*, pp. 1–16.
- Paolucci, C. (2010) *Strutturalismo e interpretazione*, Strumenti Bompiani, Bompiani, isbn: 9788858760208.
- Pattee, H.H.(2021) Symbol Grounding Precedes Interpretation. *Biosemitics* 14, 561–568. <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>
- Reasoning and the Logic of Things: The Cambridge Conferences Lectures of 1898 / Charles Sanders Peirce / Ketner E. (Ed). – Harvard University Press, 1992. – 289 p.
- Peirce, C.S. (1998). *Chance, Love, and Logic: Philosophical Essays*. University of Nebraska Press.
- Peirce, C.S. (2009). The Logic of Interdisciplinarity. *The Monist-Series*. Bisanz, E. (ed.). Berlin: Akademie Verlag.
- Peirce, C.S. (1994) [1866–1913] (CP). *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Hartshorne, Ch., Weiss, P. (eds.). 1931–1935. Electronic edition reproducing. Vols. I–VI. Cambridge: Harvard University Press. Vols. VII–VIII Burks, A.W. (ed.). 1958. Cambridge: Harvard University Press. Charlottesville: Intelelex Corporation.
- Robertson, M.P. and G.F. Joyce (2010) «The Origins of the RNA World», *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 4, 5 (Apr. 2010), pp. 3608–3608, DOI: 10.1101/cshperspect.a003608
- Romanini, Vinicius and Lacková, Ľudmila (2023): Morphoesthetics in artificial intelligence: proteins versus machines, *Semeiosis – transdisciplinary journal of semiotics* 11(1):125–139 DOI: 10.53987/2178–5368–2023-12-08
- Rousseau, J.J. (2012 (1781)), *Essai sur l'origine des langues*, éditions La passe du vent.
- Sercarz, E. et al. (1988) *The Semiotics of Cellular Communication in the Immune System*, Nato ASI Subseries H: Springer Berlin Heidelberg.
- Sharov, Aleksei; Vehkavaara, Tommi (2015). Protosemiosis: agency with reduced representation capacity. *Biosemitics* 8(1): 103–123.
- Smith, B.C. (2019) *The Promise of Artificial Intelligence. Reckoning and Judgment*. The MIT Press.
- Tesnière, L. 1959. *Elements de Syntaxe Structurale*. Paris, Klincksieck
- Švorcová, Jana, Lacková, Ľudmila & Fulinová, Eliška (2023): Evolution by habit: Peirce, Lamarck, and teleology in biology. *Theory in Biosciences* 142, pp. 411–422. <https://doi.org/10.1007/s12064-023-00406-z>
- Vachek, J.(1976) «The non-static aspect of the synchronically studied phonological system», in *Selected writings in English and general linguistics*, ed. by J. Vachek, *Janua linguarum: Series maior*, Academia.
- Zalizniak, A.A.; Ivanov, V.V.; Toporov, V.N. (1962). *Structural typological study of semiotic modeling systems*. Lucid, D.P. (ed.) 1977. *Soviet Semiotics*. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press.
- Zolyan, S., (2021). On the context-sensitive grammar of the genetic code. *Biosystems*, 208, 104497, 10.1016/j.biosystems. 2021.104497.
- Zolyan, S., (2022). From matter to form: the evolution of the genetic code as semio-poesis. *Semiotica*, 2022, 10.1515/sem-2020–0088.
- Zolyan, S., (2023 a). On the minimal elements of the genetic code and their semiotic functions (degeneracy, complementarity, wobbling). *Biosystems*, 231, 104962, 10.1016/j.biosystems. 2023.104962.
- Zolyan, S., (2023 b). On the Grammar and Grammatical Categories of the Genetic Code, In Coca, Jua R. and Rodríguez, Claudio J. (eds.) (2023). *Approaches to Biosemiotics*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid, pp. 41–58.

Ильин М.В.<sup>1</sup>

**Модели свертывания и развертывания  
во всеобщей эволюции мироздания<sup>2</sup>**

*Аннотация.* Английский термин *protein folding* сохраняет свою исходную метафоричность и даже образность. Слово *folding* продолжает оставаться полисемичным как в обыденной речи, так и контексте различных научных дисциплин и подходов. В развитие языковых игр Виттгенштейна с помощью речемыслительных упражнений испытываются слова *folding*, *grounding*, *modelling*, *patterning* и другие, а также их русские соответствия. Обсуждается *психовербальный просчет* (*psychoverbal fallacy*), связанный с превратным восприятием развивающихся биологических и социальных феноменов и даже процессов развития, воспроизводства, кодирования, программирования и т.п. как представленных данными «твердых объектов» (*hard objects*) или «отдельных вещей» (*things apart*). Психовербальный просчет произвольно укоренен в аппарате живых языков, а также последовательно утверждается в традиционной грамматике, а также в классической логике и науковедческой догматике позитивистского толка. Неотложной научной задачей является поиск способов преодоления психовербального просчета. Для этого проводится возможно более четкое различение процессов и их результатов, как средствами традиционного языкового и логического аппарата, так и с помощью инновационных коммуникативных экспериментов. В частности, в статье основное внимание уделяется *способам действия* (*modi operandi*) процессов, их мультимодальному сочетанию, а также последующему внедрению, воплощению и обоснованию. Затем анализ переходит к простейшим, но фундаментальным моделям (*patterns*) свертывания. Это прежде всего *самоформы* (*eigenforms*) и порождаемые ими фракталы. Базовые образцы формообразования позволяют моделировать свертывание актов семиозиса, получение его *исполненных* (*enacted*) сверток в виде так называемых «текстов» или, скорее, речевых актов и *исполняемых* (*enacting*) алгоритмов для последующего семиозиса. Все это, в конечном счете, помогает дать семиотическую интерпретацию как процессам сворачивания двойной спирали генома и получения белкового фолдинга, так и отдельным моментам фолдинга, грубо именуемым *экспрессией*, *трансляцией* и *транскрипцией* генов.

*Ключевые слова:* укладка белка; сворачивание кодов; воплощение символа; интерпретация; перевод.

---

<sup>1</sup> **Ильин Михаил Васильевич**, доктор политических наук, профессор, главный научный сотрудник ИНИОН РАН, профессор-исследователь НИУ ВШЭ, [milkhaililyin48@gmail.ru](mailto:milkhaililyin48@gmail.ru)

<sup>2</sup> Исследование выполнено в рамках ГЗ ИНИОН РАН «Актуальные тенденции развития науки в условиях социальных и информационно-технологических изменений».

Для цитирования: Ильин М.В. Модели свертывания и развертывания во всеобщей эволюции мироздания // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 174–209. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.10

Данный текст кому-то может показаться игрой в слова или со словами. Действительно, уже в заголовке появляются явно неслучайно сведенные (контрастные или подобные?) выражения *свертывание белка в двойную спираль* и *развертывание жизни*, а затем совсем необычные *процессирование эмергенции* и *алгоритмизация семиозиса*. Сразу предупреждаю, что и далее появится немало непривычных терминов и выражений. Убежден, что подобная *игра* (можно еще сказать – *играние*, *разыгрывание*, *подыгрывание* и т.п.) на деле лишь привычная и совершенно необходимая забава<sup>1</sup>, лежащая в основе всякого содержательного познания еще непознанного. Людвиг Витгенштейн не совсем точно назвал подобные забавы *языковыми играми* (*language games*, *Sprachspiele*) [Wittgenstein, 1953]<sup>2</sup>. Точнее было бы именовать их *речемышлительными* или *психовербальными* (*psychoverbal*) *упражнениями*.

Уже с названия статьи речемышлительные упражнения открываются испытаниями слов *folding*, *складка* и *свертка* в их соотнесении со стандартным английским генетическим термином *folding*. Дальше в тексте используется еще более широкий круг слов и словоформ не только английского и русского языков.

Продолжение речемышлительных упражнений или витгенштейновых игр концентрируется на *процессах* говорения и мышления. Они зачастую настолько сложны и изменчивы, что их проще уловить, сосредоточившись только лишь на сопутствующих им *предпосылках* и *причинах*, на *условиях* и *обстоятельствах*, или же на *следствиях* и *результатах*. От фокусировки внимания до отождествления один шаг. Подобное отождествление невольно оборачивается путаницей. Она прямо ведет к крайне опасным

---

<sup>1</sup>Фридрих Шиллер был, вероятно, первым, кто в развитие кантовских триад [Kant, 1913, S. 198] выделил три фундаментальных движущих начала или *тяги* (*die Triebe*). При переводе на русский их часто называют *побуждениями*, а на английский *drives* или *instincts*. Первая субстанциональна и чувственна. Ее Шиллер назвал *тягой к осуществлению*, т.е. фактически к материальному воплощению (*das Sachtrieb*). Другую он назвал *тягой к форме* (*das Formtrieb*). Наконец последнюю, самую изощренную и человеческую он назвал *тягой к игре* (*das Spieltrieb*) [Shiller, 1795].

<sup>2</sup>Справедливости ради нужно признать, что витгенштейновы упражнения скорее связаны с импровизациями речевой деятельности, чем с формализованным языком. По-немецки язык именуется *die Sprache*, однако это слово прямо связано с говорением. Скорее его следовало бы передавать словом *говор* в смысле говор целого народа или иной общности общающихся. Да и сами упражнения Витгенштейна отчетливо фокусируются на актах говорения или проговаривания некой мысли, а не на грамматических построениях академического лингвиста.

*познавательным просчетам (cognitive fallacies)*. По-русски эти просчеты можно также назвать *подвохами* или *обманками*, а по-английски *self-deceits, mishaps, catches*.

Критика познавательной путаницы дополняется обсуждением поистине провидческих подходов Терренса Дикона в его недавней статье «Как молекулы становятся знаками» [Deacon, 2021], Говарда Патти в его ранней статье «Как молекула становится посланием?» [Pattee, 1969] и, наконец, в цикле лекций Эрвина Шрёдингера 1943 года «Что такое жизнь?» и в ее последующей публикации [Schrödinger, 1944].

Это позволяет перейти к рассмотрению *процессов свертывания и развертывания*, а также сопутствующих им *моментов и результатов*, т.е. *сверток*. Для этого очерчиваются принципиальные контуры различия между *процессами развертывания* Наблюдаемой Вселенной и ее субстанционально структурированными *свертками* вплоть до мельчайших квантов с одной стороны и их галактиками с другой. Обе стороны фактически соединены за счет процессуального задействия субстанции (substance enacting) в едином формообразовании. Его движущими моментами становятся конкретные модусы (substance enacting modes). Само же слияние субстанции и процессов задействия носит комплексный мультимодальный характер. На деле всякая субстанция уже так или иначе задействована и сформирована, а любой процесс субстантивирован и тем самым закреплён.

Далее обсуждаются сначала сами процессы и их результаты, а затем модусы процессов и их «укоренение» или «исполнение» (grounding). Анализ затрагивает самые простые, но зато фундаментальные инструменты складывания или свертывания. Это используемые в математике *собственные формы (eigenforms)* и порождаемые ими фракталы, а также *многообразия* или *манифолды (manifolds)*.

Все это, в конечном счете, позволяет вернуться к обсуждению как процессов укладки двойной спирали генома и получению укладки белка. При этом распространенным аналогиям между биозисом и семиозисом придается фундаментальное значение. Информационно заряженный *процесс укладки (folding)* генома влечет получение *материально структурированной укладки (folding)* белка, а *укладка* служит основной для *развертывания (unfolding) процессов* формо- и смыслообразования, которые в свою очередь создают материально-энергетические образования жизнедеятельности и игровых практик. Этот ключевой пример помогает усмотреть более широкий набор аналогичных феноменов коммуникативного сворачивания и разворачивания актов самотворения (autopoiesis), получения *исполняемых алгоритмов* и *исполненных результатов* морфо- и семиогенеза.



### Краткое эпистемологическое отступление об идолах и просчетах

Нынешние поколения людей лишь только в основном и довольно поверхностно усвоили начатки рациональной организации и мышления. Соответствующие приемы и навыки кажутся нам безусловными и безошибочными, данными на все времена. Мало кто отдает себе отчет, что подобные возможности стали формироваться совсем недавно, лишь на поздних этапах очеловечения или сапиентизации. Длительное превращение наших далеких предков трибы *Hominini*, различных *–питеков* и *–антропов* заняло, вероятно, около семи миллионов лет. Это время включило несколько эволюционных этапов переработки забот в возможности и переходов между такими этапами в виде каскадов качественных перемен<sup>1</sup>. Наши нынешние мыслительные и коммуникационные возможности венчают эту эволюцию, но не завершают и не останавливают ее.

Развитие нашего вида *Homo sapiens sapiens*, т.е. людей современной анатомии охватывает примерно 300 тысяч лет и составят всего лишь 4 процента всей длительности очеловечивания. После обретения *поведенческой современности* (behavioral modernity) всего 40–50 тыс. лет назад (уже чуть больше 0,5%) или примерно полторы тысячи поколений назад – начали возникать начатки культуры, мифологического мышления и языков, сильно отличающихся от нынешних. Языки, уже напоминающие наши современные, а значит соответствующие способы мышления и стандарты рациональности начинают складываться скорее всего 10–12 тысячелетий назад. Это, видимо, крайний предел для реконструкции происхождения языков и языковых семей нынешнего типа, а также конгениальных им когнитивных систем<sup>2</sup>. За этим рубежом ничтожная десятая доля процента от общего очеловечивания и 3% от очеловечивания людей нынешнего облика. Зачатки фонетического письма появляются полторы сотни поколений назад, якобы «рациональные» представления о линейном «осевом времени» и причинно-следственной каузации 70–80 поколений назад, систематические упражнения рациональных рассуждений схоластического толка примерно 30–40 поколений назад, переход к научным построениям 15–20 поколений назад, «просвещение» и мощный спурт «прогресса» всего 7–8 поколений назад, торжество «позитивной науки» и гегемония стандартов позитивизма 4–5 поколений назад... Ну а компьютерная револю-

---

<sup>1</sup> Фундированное обобщение основных этапов сапиентизации убедительно предложено в [Розов, 2021; Розов, 2022] и уточнено в [Ильин, 2022] и подготовленной к изданию рукописи [Розов, в печати].

<sup>2</sup> Ким Стерельни намечает границу 12 тыс. лет назад [Sterelny, 2011]. Этот же предел принимают Алексей Касьян и Георгий Старостин, но признают, что пока фактически достижимая глубина реконструкции языковых семей составляет 5–6 тысячелетий [Касьян, Старостин, 2015]. Возможно, как раз промежуток от 12 до 6 тысячелетия назад и был рубиконом перехода к мыслительной и языковой современности (mental and lingual modernity)?

ция произошла буквально на глазах у людей моего поколения. В школе мы ничего подобного даже вообразить не могли.

Приходится таким образом признать, что когнитивные и коммуникативные «стандарты» или хотя бы опорные принципы для отделения племел от зерен (Мф. 13: 24–30), распознавания идолов и просчетов все еще только осваиваются нами. Мы все еще плохо владеем этим искусством и, возможно, многого не знаем и не умеем. Зато мы знаем, что прагматическая и индивидуализированная коммуникация разворачивается в двух мирах – внешнем и внутреннем, речевом и ментальном. Во внешнем мире за счет речи и отчасти других способов (модусов) общения идет взаимодействие между людьми (наедине со всеми) с учетом своих и чужих функциональных или ролевых ипостасей. Во внутреннем мире каждого из нас (наедине с собою) взаимодействуют наши внутренние состояния, их функциональные или ролевые ипостаси.

Конечно, все эти внешние и внутренние коммуникативные практики, прежде всего речь и мысль как фундаментальные стороны человеческой деятельности являются очеловечивающими забавами. В этом их непреходящая ценность. Такие забавы не только позволяют каждому из нас вырваться из гоббсовского состояния войны всех против всех или полной отчужденности, когда по выражению шекспировского Гонзало «никто самим собою не был» (*when no man was his own*), но также обнаруживать и наперекор отчуждению присваивать и окружающий мир, и самих себя, давая им «местопребывание и имя» (*a local habitation and a name*). Это уже слова Тезея из «Сна в летнюю ночь». А это означает, что сквозь наши терминистические фильтры (*terministic screens*) [Burke, 1966, Р. 45–66] мир предстает таким, каким его делают наши чувствилища-сенсориумы, а затем мысль и речь<sup>1</sup>.

Это общее эпистемологическое замечание предваряет психовербальную игру, нацеленную на выявление своих же собственных сбоев. Об этих сбоях мы уже знаем немало. Еще Френсис Бэкон в своей эпистемологической самокритике человеческого мышления и исследовательских практик обратил наше внимание на четыре призрака или идола<sup>2</sup>, искажающих и человеческое познание и, шире, наше восприятие мира и нас же самих в этом мире. С тех пор подобная самокритика значительно обогатилась и за счет трех кантовских критик, и последующих опытов развития критического мышления, увы, остающихся пока в самом зачаточном со-

<sup>1</sup> См. беседу с Бернардо Каструпом [Бернардо Каструп, 2020] и его статью [Каструп, 2020].

<sup>2</sup> В русском языке и в латыни под идолами (*idola* мн. ч. от *idolum* ед. ч. ср. рода) понимается и понималась фигурка божка, однако Бэкон этимологизировал данный термин через греческий источник латинской транслитерации. Это слово *εἶδολον* – буквально «призрак» – акцентировал исходный смысл видения, видимости от и.-е. этимона *\*weyd-*, т.е. буквально «вид». Нам русским посчастливилось сохранить чуть ли не индоевропейский исходник.

стоянии. Как это ни удивительно, данные усилия лишь периферийно и выборочно затронули один из фундаментальных изъянов нашей психовербальной практики, а именно базовую категоризацию в мысли и речи того, что для нас значимо (*relevant*), т.е. обладает с одной стороны значением (*Bedeutung*, *relevance*, *meaning*) или референцией, а с другой и смыслом (*Sinn*, *sense*).

Все значимое для нас мы выделяем как особые явления или феномены<sup>1</sup> на общем фоне бессмысленного *беспорядка* или, выражаясь модным компьютерным языком *шума* (*noise*). То, на чем можно очень отчетливо сфокусировать свое внимание, мы склонны воспринимать как предметы (*objects*), как нечто «перед нами положенное», как отдельные вещи (*things apart*). Уже на языковом уровне они получают оформление в виде имен – прежде всего существительных, но также прилагательных, если опредмечиваются, объективизируются не целостные явления, а только их особенности, свойства.

Себя также мы представляем в виде особой вещи – тела или при большей мыслительной ловкости и изощренности как предмет особого рода, как субъект или подлежащее (*subjectum*, *subject*)<sup>2</sup>. Это подлежащее способно действовать и признавать аналогичную способность за другими объектами. А раз так, то все объекты в нашем мире, все овеществленные отдельности существуют за счет деятельности. Объектное *что* одного лишь наличия обязательно предполагает субъектное *как* его фактического существования. Это относится не только к людям и прочим живым существам, но и любым феноменам от космических мегаквантовых до субатомных микроквантовых. В конечном счете, это *как* передается речением, глаголом (*verbum*<sup>3</sup>, *verb*). Глагол ориентирован по лицам и по временам. Это и понятно, ведь через *как* улавливаются уже не овеществленные, но еще бесформенные целостности предметов, а их превращения в текучие процессы-действия между субъектами – людьми и приравненными к ним объектам вплоть до химических молекул, физических атомов и микрочас-

---

<sup>1</sup> Исходное греческое слово *φανόμενον* буквально означало почти то же самое, что и *εἶδωλον*, как паре русских слов *видимость* и *видение*. Здесь также используется сенсорий зрения и сенсация способности видеть. В строгом смысле любые феномены от природных до социальных это то, что нам субъектно доступно в ощущении и понимании, а не то, что объектно существует.

<sup>2</sup> Подлежащее для людей вытекает из их первичной и первобытной принадлежности к роду, которая как раз и обеспечивает способность действовать по-человечески только в рамках первобытного рода.

<sup>3</sup> От и.-е. *\*werdʰjom*, т.е. сочетания *\*werh-* (издавать звук, возможно звукоподражание рыку, отсюда греч. *ῥῆμα* – «сказ, сказанное» и также глагол как грамматический термин, возможно русские слова *речь* и *враки*, но этимологии не ясны) и *\*-dʰh-* («класть, располагать», а в дальнейшем развитии появляются смыслы связанные с действием, деланием, ср. рус. *деть, делать*). Таким образом латинский термин для глагола *verbum* фактически строится на метафоре «расположить, деть звук или рык». Получается что-то наподобие *рыкодей*.

тиц, до планет, звезд и галактик. В результате все эти «отдельные вещи» (things apart)<sup>1</sup> оказываются способны преодолевать свою отъединенность и объектность и превращаться в наделенные субъектностью существа.

Главный вывод таков: мы узнаем и различаем в мире и в самих себе *что* отдельных предметов или объектов и *как* разворачивающихся процессов. Те предметы или объекты, которые затрагиваются процессами и временем, раскрываются и разворачиваются, превращаясь в живущие уже во времени субъекты. В этом нет ни грана антропоморфизма, хотя он порою может помочь в преодолении мыслительных затруднений. В этом самоосуществление антропного принципа в виде аутопоэза (autopoiesis) и эволюции всей нашей Наблюдаемой Вселенной.

### Речемыслительный просчет (psychoverbal fallacy)

Теперь вполне уместно вслед за Витгенштейном вернуться к *речемыслительным забавам*. Произнесение словосочетаний *protein folding* (дословно: протеиновое свертывание) или *складка белка* может вызвать в одном случае образ изменчивого процесса складывания, а в другом обернуться обликом некоего тела, образованного переплетением материальных волокон. Первое и самое близкое к жизни, увы, происходит крайне редко. Разглядеть ход процесса способны такие исследователи Г. Патти, Л. Беннетт, А. Маркош, Т. Дикон, К. Кулль, А. Шаров и еще немногие биосемиотики и эволюционисты. Второе и близкое к омертвевшим отпечаткам жизни случается чаще – достаточно открыть стандартные учебники по генетике. Однако еще чаще приключается третье и самое обманчивое – появляется зрелище некой непонятки, невнятной ни-то-ни-сетины. То она представляется неким химическим веществом с трудом угадываемой в нем некой скрученной конфигурацией, то самим процессом скручивания, к которому добавляются загадочные составные явления – с одной стороны, процессы, с другой, результаты. Они метафорически именуются словами *перевод* (*translation*, но может означать и «трансляция») или *записывание / запись* (*transcription*, *транскрипцией*). А вся двойная спираль белка оказывается то алгоритмом процесса скручивания, то результатами этого процесса – чередой самых разных фантазмов и призраков или *идолов* (*idola*) в терминологии Бэкона – потоке обманчивой видимости вместо действительности.

Проще всего было бы предложить отказаться от употребления двусмысленных словосочетаний *protein folding*, *складка белка*, *skládání proteinů*, *die Proteinfaltung*, *le repliement des protéines*, *zwijanie bialka*, *протеинско савијање* и т.п. Каждому *фантому* (*phantom*), *фантазму*

<sup>1</sup> Об опасности выделения и заикливания на «отдельных вещах» (things apart) в социальных науках очень точно писал Чарльз Тилли [Tilly, 1984].

(*φαῖνται*) и феномену (*φαίνόμενον*) – слова производные от греческого *φαίνο* (я сияю, появляюсь в поле зрения, возникаю) – следовало бы найти свою терминологическую формулировку. Возможно, порой или каждый раз пришлось бы было искать более точное или хотя бы адекватное понимание и его словесное выражение. Боюсь, что это было бы не слишком реалистично. Мало кто согласился бы потратить не один час, чтобы написать пару фраз, когда при нынешних обыкновениях неряшливой мыслительной практики и не менее безответственной речевой ту же пару фраз можно без малейших забот и раздумий слепить буквально в два счета.

Реалистичнее было бы настаивать на том, чтобы при обсуждении характеристик белкового фолдинга выступающие или авторы текстов указывали бы, что оказывается в центре их внимания – то ли это процессы свертывания, например, кодирования и декодирования в целом или даже более конкретные процессы, именуемые ныне экспрессией, транскрипцией, трансляцией или переводом и т.п., то ли это протеиновые свертки т.е. белковые «тела» или их субстанционализованные конфигурации, то ли, наконец, некие мыслительные образования (понятия, модели, образы) для работы с процессами, субстанциями или теми и другими вкупе.

На практике подобная гибкая перефокусировка внимания куда проще радикальной перестройки терминологической системы, а в конечном счете всего привычного «языка науки» и пресловутых «стандартов научного исследования», претендующих на универсальную нормативность<sup>1</sup>. Дело вполне сводится к подладке и «языка», и «стандартов». Решение можно найти во все в тех же языковых играх, которые точнее было бы называть речемыслительными или психовербальными забавами.

Давайте наряду с рамочным выражением *фолдинг белка* будем чаще использовать также выражения *свертка белка*, *конфигурация двойной спирали*, *сцепления генома*, *складка наследственной памяти*, *свертывание передачи информации*, *свертка белкового кода* и т.п. Сразу конкретизируются и предметы нашего изучения, и исследовательские вопросы, и ожидаемые результаты.

А пока кругом непонятки. Русская Википедия дает такое определение: «Геном – совокупность наследственного материала, заключенного в клетке организма» (Геном – Википедия ([wikipedia.org](http://wikipedia.org))). Если это всего лишь «материал», да еще его бесформенная «совокупность», то как эта аморфная субстанция в принципе может стать «наследственной»?

---

<sup>1</sup> Универсальные и нормативные языки и стандарты науки – это еще один набор обманок наподобие бэконовских идиом. На деле в сфере науки столько же самых разнообразных диалектов (= «языков»), диалектов, наречий, манер и стилей, что и повседневном общении, а стандартов науки не меньше, чем стандартов любой деятельности. Каждое отдельное исследование предполагает подладку своего наречия, операциональных правил и принципов.

Замечание о клетке еще больше запутывает читателя. А у того, кто не поленился дочитать до конца, в глазах зарябит, а в сознании совсем все спутается. Каких только геномов не бывает – и вида, и особи, и популяции, но все они упрямо отождествляются с материальными образованиями химического вещества. О какой активной роли наследования, а тем более формирования новых форм жизни или хотя бы организмов может идти речь? Как можно так писать и думать о прорывных проблемах современного научного развития?

Приходится, увы, констатировать превратное восприятие развивающихся биологических и социальных феноменов, а также процессов возникновения, развертывания, кодирования, программирования и т.п. почти исключительно в виде представленных «твердыми» данными (*hard data*) стабильных объектов или «отдельных вещей» (*things apart*)<sup>1</sup>. Продолжается укоренение психовербального просчета в языковом аппарате и в традиционной грамматике, а также в классической логике и науковедческой догматике позитивистского толка.

### **Провидческие подходы к происхождению жизни, эмергенции и семиозиса**

Теперь, как и было обещано, предстоит обратиться к идеям Т. Дикона, Г. Патти и Э. Шрёдингера.

Свою статью 2021 г. в журнале «Биосемиотика» Дикон открывает краткой характеристикой противоречивых трендов изучения происхождения жизни и представленной геномом ее программы. Ясно, что эти тренды и стоящие за ними явления неразрывно связаны. Дикон выделяет три поворотных момента в изучении жизни и генома (40-е годы, рубеж 50-х и 60-х годов и 70-е годы) и имплицитно четвертый – нынешние времена, когда писалась его статья.

Первый момент представлен прочитанным в 1943 г. Эрвином Шрёдингером в дублинском Тринити колледже курсе лекций «Что такое жизнь?» и его публикацией в виде небольшой книжки на следующий год. Я бы добавил сюда с одной стороны выдающийся труд Джулиана Хаксли [Huxley, 1942], завершивший формирование основ современного эволюционного синтеза, в том числе за счет интеграции в него генетики, а с другой – усилия великолепного Конрада Уоддингтона [Waddington, 1940; Waddington, 1942; Waddington, 1946; Waddington, 1953] по разработке эпи-

---

<sup>1</sup> В социальных науках прочность представлений о обществах как отдельных вещах (*societies are things apart*) в ряду восьми губительных (*pernicious*) постулатов показал Чарльз Тилли в своей книге «Крупные структуры, долгие процессы, масштабные сравнения» [Tilly, 1984].

генетики как источника более широкого и гибкого понимания развития и эволюции.

Второй момент составили первые открытия структуры генома и упомянутая Диконом формулировка Френсисом Криком «центральная догма» молекулярной биологии. Мне бы казалось важным включить сюда диалог о ключевых проблемах биологического и социального развития с участием еще одного открывателя структуры генома Франсуа Жакоба и выдающегося лингвиста Романа Jakobson [Vivre et parler, 1968], а также статью Jakobson о состоянии лингвистики, где он развивает свои аналогии между лингвистикой и генетикой [Jakobson, 1970].

Третий момент представлен в виде популяризаторской догматизации упрощенных биохимических схем позитивистского толка на примере книги Ричарда Докинза «Эгоистичный ген» [Dawkins, 1976]. Это позволяет Дикону сделать вывод: «То, что могло поначалу выступить лишь некой метафорой (a metaphor), стало трудно отделить от химической действительности (the chemistry)» [Deacon, 2021, p. 538].

Наконец, нынешний момент в трактовке Дикона позволяет адекватно использовать предлагаемые им научные новации вкупе с важными задачами Говарда Патти и прозрениями Эрвина Шрёдингера, о которых пойдет речь далее. Он реалистично признает, что восприятие всех этих ценнейших идей блокировано отождествлением генов с репликаторами и подобными механистическими стереотипами, молчаливо признанными в общенаучном и общекультурном «фольклоре» или ритуальной воспроизводимой мудрости (lore). Фактически данная «мудрость» не более чем некритическое тиражирование уже обсуждавшихся здесь речемыслительных просчетов, которые были авторитетно провозглашены сначала некоторыми первооткрывателями генома, а затем закреплены злополучными популяризаторами науки. Такова ситуация в генетике, во многом в биологическом мейнстриме, а также отчасти даже в биосемиотике.

Весьма показательны примеры дискуссии в журнале «Биосемиотика», о которой уже шла речь, а также научных обсуждений на ежегодных биосемиотических слетах и даже прошлогодний и нынешней рубрики в МЕТОДе. Они подтверждают, что ключевые идеи Э. Шрёдингера и Г. Патти, а также А. Тьюринга, К. Уоддингтона, Дж. фон Ноймана, Х. фон Фёрстера, Л. Кауффмана, Т. Кулля и самого Т. Дикона становятся все более актуальными и значимыми в энтенциональном отношении и востребованными в интенциональном отношении, если воспользоваться диконовским различием энтенциональности (от онтологической объектной нехватки требуемого, from ontological objectal absence) и интенциональности (субъектной работы, work, самого восполняющего нехватку агента). Прежде всего они касаются происхождения жизни и более широкого феномена эмергенции. При этом крайне важна исследовательская установка Говарда Патти – искать решения *сложных* проблем в *начальной простоте*.

Во введении к своей статье 1969 г. он четко формулирует данную установку: «Более конкретно, как физик, я хочу знать, как отличить коммуникацию между молекулами от обычных физических взаимодействий или сил между молекулами, которые, как мы полагаем, объясняют все их движения. Более того, мне нужно провести это различие *на как можно более простом уровне* (*at the simplest possible level* – выделено Патти, М. И.), поскольку рассмотрение высокоразвитых организмов, в которых процессы коммуникации достаточно ясны и отчетливы, не дает ответа на вопрос о происхождении (*the origin question*, т.е. вопрос об эмергенции как таковой – М. И.). Поэтому мне необходимо знать, как возникли сообщения (*how messages originated*)» [Pattee, 1969, p. 2]<sup>1</sup>.

Затем Патти вполне естественно ставит вопрос, *каково простейшее сообщение*, и предлагает *простой* ответ, начиная его с обсуждения терминов: «Биологическая литература сегодня полна таких слов, как *активатор*, *ингибитор*, *репрессор*, *дерепрессор*, *индуктор*, *инициатор*, *регулятор*. Эти общие слова описывают мессенджеры, конкретные примеры которых открываются каждый день. Я бы *упростил* сообщения (*would simplify the messages* – М. И.) во всех этих случаях, сказав, что они означают “включи” или “выключи”» [Pattee, 1969, p. 7].

Тут появляется крайне важное понятие *переключателя* (*switch*), под которым понимается не техническое устройство, а простейшее функциональное действие. Забегая вперед, отмечу, что это своего рода примитивный зародыш куда более сложных понятий типа рекурсии и фолдинга. К сожалению, дальнейшей необходимой проработки это понятие не получило. Возник своего рода невольный разрыв между статьей Патти 1969 г. и его же последующими публикациями, а также публикациями Т. Дикона, К. Кулля и других биосемиотиков. В частности, требует осмысления и проработки связи примитива переключения (это одновременно и минимальный сигнал, и целостное сообщение) с ключевым понятием фолдинга, разрабатываемым Л. Беннет (Лацковой) [Lacková, 2018; Lacková, 2019 a; Lacková, 2019 b; Lacková, 2023], другими коллегами [Markoš, Faltýnek, 2011; Švorcová, Markoš, 2019; Sharov, Tønnessen, 2021] и ставшей содержанием нашей рубрики.

Вчитаемся внимательно в формулировки Патти: «Если простейшее сообщение – это включение чего-либо, то нам также необходимо знать физическое происхождение и пределы простейшего устройства, которое будет выполнять эту операцию. Такое устройство обычно называют *переключателем* (*switch* – выделено Патти, М. И.), и мы будем использовать этот термин, помня о том, что он определяется его функцией, а не конст-

<sup>1</sup> Патти подчеркивает принципиальное значение простоты: «Центр моей статьи ... заключался в поиске наипростейшего языка (*the simplest language*), на котором сообщения были бы одновременно и *наследуемыми* (*heritable*) и *открытыми* (*open-ended*)» [Pattee, 2021, p. 561].



рукцией искусственных переключателей, которые мы используем для включения света или управления поездами. Переключатель – хороший пример элемента с чрезвычайно простой функцией – трудно представить себе более простую функцию, – но с детальным поведением, выраженным в терминах физических уравнений движения, которое чрезвычайно сложно» [Pattee, 1969, p. 7]<sup>1</sup>.

В своей небольшой статье Патти 33 раза пользуется словом *switch* – порой с прилагательными или иными уточнениями. Слово *switching* используется примерно вдвое реже. Это причастие может выступать как эквивалент и существительного (вещи), и прилагательного (процессу). Это позволяет автору относительно короткой статьи наметить целый ряд зародышевых понятий. Например, он пишет о «*sequential switching machines*», «*switching molecules*» и уже без кавычек *switching networks* (4 раза), *switching catalysts* (2 раза), *switching event*, *switching mechanisms* и *switching cycles*. По большей части слово *switching* указывает на связь простейшей функции переключения или включения – выключения с тоже достаточно незамысловатыми, но не элементарными образованиями.

Настойчивое использование зародышевых понятий с компонентом *switching* позволяет Говарду Патти избежать заикливания на умозрительной абстракции двойной спирали, якобы совпадающей с неким материально-энергетическим субстратом. Тем самым он избегает разрушительного речемыслительного просчета, сводящегося к плоскому отождествлению или, что то же самое, наивному неотличению одного от другого. Подобное отождествление / неотличение помимо аналитической бессмысленности чревато исключением темпорализации и движения, без которых сам предмет изучения – жизнь – фактически исчезает. Совершенно естественно, что Патти настаивает: «Я считаю более разумным начать не с механизмов переключения (*switching mechanisms*) или бессмысленных сообщений (*meaningless messages*), а скорее с примитивной (*a primitive communication network*) коммуникационной сети, которую можно счесть (*could be called*) исходной экосистемой (*the primeval ecosystem*)» [Pattee, 1969, p. 9].

«Подобная система, – поясняет далее Патти, – может состоять из примитивных геохимических циклов материи, в которых материя каталитически перемещается через структуры, похожие на клетки, которые возникают спонтанно, без исходных генетических инструкций (*without initial genetic instructions*) или метаболического контроля» [там же]. Это означает, что примитивные и *еще* не живые «циклы материи» в виде, например, автоколебательных реакций или аperiодической кристаллизации даже без

---

<sup>1</sup> Соединение простого и сложного, установление связей и переходов между ними очень созвучно симплекс-комплекс трансформациям, изучение которых предпринято нашим изданием МЕТОД и Центром перспективных методологий ИНИОН РАН по меньшей мере с 2013 г. [см. Ильин, 2021, особенно с. 76–79; Итоги и вызовы пятилетнего проекта Центра перспективных методологий, 2021].

абстрактно выдуманных «исходных генетических инструкций», поскольку генов еще нет, *уже* обладают чем-то «клеткообразным» и как-то (автокаталитически?) позволяющим устойчиво сохраняться во времени, точнее едином пространстве-времени. Более того, эти *еще* неживые «циклы материи» вопреки энтропии и даже за счет негативной энтропии *уже* не только сохраняют свои порядки, но и умножают их. Тем самым не только подтверждаются парадоксальный принцип Реди – Вернадского «живое из живого» и еще более общий принцип Дикона энтенциональной эмергенции из нехватки (absence), но также появляются основания для моделирования самовоспроизводства и самотворения или аутопоэза (autopoiesis) [Maturana, Varela, 1972].

Говард Патти признает, что все эти возможности уже намечены в науке: «Первой известной мне глубокой моделью самовоспроизводящейся системы была модель математика Джона фон Неймана (1956), который прямо потребовал от своей модели, чтобы она была способна развивать более сложную модель без изменения своих базовых правил. На фон Неймана сильно повлияла работа Тьюринга (1937), который довел концепцию вычислений до простейшей крайности в виде базовых операций с символами и показал, что с помощью этих базовых правил можно построить «универсальную» машину, которая может вычислить любую функцию, которую может вычислить любая другая машина. В своих рассуждениях о репликации фон Нейман также использовал *модели нейронных сетей переключения* (*models of neural switching networks* – выделено мною, М. И.) Маккаллоха и Питтса (1943), но он расширил обе эти модели, включив в них процесс «конструирования», который не был физически реалистичным, но позволил ему описать «универсальный самовоспроизводящийся автомат», который имел потенциал для эволюции и к которому можно было добавлять программы развития без изменения базовой организации автомата» [Pattee, 1969, p. 11].

В этом контексте темпоральные модели и пространственно-временные феномены фолдинга приобретают ключевое значение. Фундаментальные основания для этого намечены уже Эрвином Шрёдингером в его дублинских лекциях 1943 г. и в последующей публикации [Schrödinger, 1944]. В них он различает и одновременно соединяет в едином понятийном комплексе метафоры свертывания (folding) и разворачивания (unfolding), увязывая их со способами упорядочивания, поддержания и закрепления порядков.

В разделе «Два способа создать упорядоченность (orderliness)» седьмой главы своей книги Шрёдингер разъясняет: «Упорядоченность, наблюдаемая в *разворачивании* (*unfolding* – выделено мною, М. И.) жизненного процесса, возникает из иного источника. Оказывается, есть два

различных “механизма”<sup>1</sup>, которые могут производить упорядоченные явления: “статистический механизм”, создающий “порядок из беспорядка”, и новый механизм, производящий “порядок из порядка”. Для непредвзятого ума второй принцип кажется более простым, более вероятным. Без сомнения так это и есть. Именно поэтому физики были горды установлением первого принципа – “порядок из беспорядка”, которому в действительности следует природа и который один дает объяснение огромному ряду природных явлений и, в первую очередь, их необратимости. Но мы не можем ожидать, чтобы “законы физики”, выведенные из этого принципа, оказались достаточными для объяснения поведения живого вещества, наиболее удивительные особенности которого, видимо, в значительной степени основаны на принципе “порядок из порядка”. Вы ведь не станете ожидать, что два совершенно различных механизма могут обусловить один и тот же тип закона, как не будете ожидать, что ваш дверной ключ обязательно сможет так же хорошо открывать и двери вашего соседа [цит. по: Schrödinger, 1992, p. 80].

### Свертывание (folding) и развертывание (unfolding)

Как уже отмечалось, по Шрёдингеру, жизнь осуществляется за счет перетекающих друг в друга процессов свертывания (folding) и развертывания (unfolding). В не меньшей мере они обеспечивают не только жизнь, но космогенез и антропогенез. Более того, дружеский и непримиримый спор Нильса Бора и Эрвина Шредингера о принципе дополнительности, развитый тремя так называемыми *представлениями* (*pictures or representations*) Поля Дирака, Вернера Гейзенберга и самого Шрёдингера, на свой физико-математический лад подкрепили уже вполне общечеловеческое интуитивное представление о всеобщих переходах и перетеканиях, включающих коловращения, а также свертывания и развертывания.

В связи с этим очень показательна произвольная переключка между образами мышления Эрвина Шрёдингера и Пьера Тейяра де Шардена, между текстами брошюры «Что такое жизнь?» и книги «Феномен человека». Оба автора создавали свои шедевры как раз в самые первые годы Второй мировой войны.

Тейяр де Шарден начал подготовительную работу уже в 20-е годы попеременно, то во Франции, то в Китае, но текст книги был в основном написан в самом конце 30-х, в первые годы Второй мировой войны. Сразу после войны Тейяр де Шарден попытался получить от церкви разрешения

---

<sup>1</sup> Слово механизм взято в кавычки, что можно понимать как указание на более широкое по объему понятие, но содержательно сходное с тем, что физики и инженеры обычно именуют механизмом.

на ее публикацию и для этого переработал текст. Ему было отказано, а книга вышла уже после его смерти в 1955 г.

Интерес Шрёдингера к биологической проблематике и связи квантовых процессов с жизнью восходит также к 20-м годам и усиливается к концу 30-х годов. Критически важным стало знакомство в самом начале 40-х годов с исследованием выдающихся генетиков – Тимофеева-Ресовского, Циммера и Дельбрюка [см. Timofeeff-Ressovsky, Zimmer, Delbruck, 1935], а также [Dronamraju, 1999; Perutz, 1987]. Именно тогда выкристаллизовалось, видимо, понимание значения негэнтропии, а также свертываний и развертываний для возникновения жизни.

Для концептуализации всеобщей космологической эволюции, выливающейся в антропогенез, Тейяр де Шарден использует образы открытости и закрытости в длительности (*durée*) пространства-времени. Концептуализация (и, увы, номинализация) образов внешнего (*le Dehors*) и внутреннего (*le Dedans*) мировой субстанции<sup>1</sup>, тангенциальной и радиальной энергии позволило ему связать распространенные интуиции концов и начал, лицо и изнанки, в его трактовке протекающих в пространстве-времени процессов. В конечном счете он увенчал всеобщую космическую эволюцию точкой Омега ( $\Omega$ ) и тем самым увязал ее с исходным моментом всеобщего генезиса, который уместно было бы назвать точкой Альфа (А).

Сам же ход космического разворачивания и усложнения Тейяр представил в логике «эмпирического закона круговращения»<sup>2</sup> и вытекающих из нее шагов эволюции. Мир предстает как «собиратель и хранитель» (*collecteur et conservateur*) возникновений, эмергенций в диапазонах трех важнейших шагов – первоначального шага образования механической энергии (*pas de l'Énergie mécanique*), последующего шага жизни (*Pas de la Vie*) и, наконец, шага рефлексии или мысли (*pas de la Réflexion, pas de la Pensée*)<sup>3</sup>.

Показательно, что даже рефлексия, понимаемая как мыслительная способность фактически воспроизводит рекурсию: «С экспериментальной точки зрения, которая безусловно наша (*point de vue expérimental qui est le nôtre*), рефлексия, как подсказывает само слово (*ainsi que le mot l'indique*),

<sup>1</sup> Можно усмотреть не просто аналогию, но подлинное соответствие связям между тейяровскими внешним / внутренним и Умвельтом / Инненвельтом Якоба фон Икскюля.

<sup>2</sup> Главной научной задачей своего труда Тейяр считал выявить среди элементов универсума не систему онтологических причинных связей (*entre éléments de l'Univers, non point un système de relations ontologiques et causales*), а эмпирический закон круговращения (*une loi expérimentale de récurrence*). Только это и было целью его усилий (*voilà, et voilà simplement, ce que j'ai essayé de faire*).

<sup>3</sup> Данное терминологизированное выражение (*Le pas de la réflexion*) выносится Тейяром в заголовок раздела, открывающего третью главу, фактически третью часть книги, посвященную возникновению и утверждению мышления. Однако фактически все шаги – и три важнейших, и множество куда более мелких – рекурсивны, замыкают циклы переходов и превращений.

является приобретенной сознанием способностью сосредоточиться на самом себе и овладеть самим собой как *предметом* (le pouvoir acquis par une conscience de se replier sur soi, et de prendre possession d'elle-même *comme d'un objet*)» [Teilhard de Chardin, 1955, p. 108].

### Самоформы (eigenforms) как прототипы рекурсии (recursion)

Пьер Тейяр де Шарден вовсе не случайно сделал *экспериментальный закон круговращения* (une loi expérimentale de récurrence) ключом к пониманию феномена человека и развертывания вселенской эволюции. Действительно, мы с вами живем в ритмах повторяющихся циклов – суточных и годовых, телесных и космических. Вращаются галактики и планеты, электроны вокруг атомных ядер... Фактически любой процесс ритмичен, а ритмы цикличны. Более того, рано или поздно некое коловращение порождает новое или внутри себя или создавая вихрь подобных себе коловращений. Происходит безостановочное возникновение и умножение коловращений. Идет неустанный копирование, точнее самокопирование рекурсий с их по последующим умножением. С появлением копий возникают и альтернативы. Полное, стопроцентное повторение невозможно хотя бы в силу сбоев и внешних воздействий. Простейшие материально-энергетические действия, а тем более взаимодействия рано или поздно оборачиваются рекурсивными и вариативными действиями. Возникает пока зародыш, даже скорее намек на устойчивое и направленное действовање (agency), а значит и на способность или потенциал такого действоваания. Его также торопливо именуют тем же трудно переводимом на русский язык словом *agency*, часто просто транслитерируемым как *агентность*. Фактически появляется спонтанно творящая субъектность еще без персонализированного субъекта. Разумеется, что никакого явственного агента пока еще отчетливо видно. Пока даже не угадывается привычный облик того, что мы привыкли именовать субъектом. Однако присутствие соответствующей силы уже вполне ощутимо. Направленные действия и предпочтение одних возможностей и альтернатив другим уже налицо.

В конечном счете экспериментальный закон круговращения позволяет уловить в накоплении превращений возникновение совершенно нового типа и качества *самости*. Она вполне отчетливо проявляет себя в аутопоэзе, который является довольно изощренным соединением множественных рекурсий. Франсиско Варела признает ключевую интеллектуальную и практическую роль Хайнца фон Фёрстера<sup>1</sup> в формировании концепции аутопоэза, а главное в ее продвижении в научной среде [Varela, 1996]. Дело в том, что помимо трудностей формулирования концепции и придания ей доступной для восприятия формы мощнейшим препятствием стала невоз-

---

<sup>1</sup> Подробнее о Хайнце фон Фёрстере и его вкладе в науку см.: [Scott, 2003].

приимчивость научных журналов и экспертного сообщества. При этом сам Хайнц, как его сердечно именует Варела в своей статье, уловил идею еще в зародыше во время своих встреч с Матураной и Варелой в Чили в конце 60-х годов. Но главное он сделал потом, когда направленные в несколько журналов, включая *Science* и *Nature*, тексты были отвергнуты. Зимой 1973 г. во время своего визита в Чили, как вспоминает Варела, фон Фёрстер помог существенно переписать текст статьи и лично доставил его в редакцию журнала *Biosystems*. Однако и там первые рецензии были отрицательными. Понадобились настойчивость и влияние фон Фёрстера, члена редакционной коллегии журнала, чтобы статья Варелы, Матураны и Урибе в 1974 г. была принята и напечатана [Varela, 1996].

Почему же Хайнц фон Фёрстер с полуслова уловил рациональное зерно в еще недосложившихся идеях аутопоэза? Что его заставило столько времени и сил уделить их доводке и публикации? Рискну с полной уверенностью предположить, что Фёрстера захватила идея очень крупного обобщения всякой эмергенции или *творения* (*ποίησις*) на примере процессов жизни в виде общей компактной концепции. Его, подобно Пьеру Тейяру де Шардену, влекли предельные обобщения, которые были бы сводимы к простым принципам и «законам» типа экспериментального закона круговращения. Более того, Хайнц фон Фёрстер как математик стремился к четкой формализации. И он нашел ее очень скоро в виде так называемой *собственной формы* или *самоформы* (*eigenform*) [Förster von, 1976]<sup>1</sup>.

Фёрстер не изобрел понятия самоформы, а заимствовал его у выдающегося немецкого математика Давида Гилберта, но при этом существенно уточнил. Данное понятие (*die Eigenformen*) Гилберт впервые использовал в 1904 г. в статье (Hilbert, 1904), а затем в обобщающем труде по общей теории линейных интегральных уравнений (Hilbert, 1912) для выделения самоподобных форм из множества единичных (*Einzelformen*). Что касается Фёрстера, то он ввел понятие самоформы прежде всего в кибернетику для обобщенного формализованного представления *рефлексивных* систем. Как подчеркивает ведущий исследователь самоформ Луис Кауффман [Kauffman, 2003; Kauffman, 2009; Kauffman, 2017; Kauffman, 2023], это понятие «неразрывно связано с кибернетикой второго порядка» [Kauffman, 2003, p. 71].

Фёрстер начинает свою статью о самоформах, а точнее об объектах как обозначениях (*tokens*) самоповедения (*Objects: Tokens for (eigen-) behaviors*) фразой не о математических объектах или абстракциях<sup>2</sup>, а о

<sup>1</sup> Соответствующие результаты были доложены Фёрстером на конференции по случаю восьмидесятилетия выдающегося психолога Жана Пиаже в Женеве 29 июля 1976 г. и затем опубликованы в «Кибернетическом форуме» [Foerster, 1976] и материалах конференции. Доступное и обычно цитируемое издание [Foerster, 2003].

<sup>2</sup> О подобных ментальных объектах или абстракциях писали еще в 1980 г. Луис Кауффман с Франсиско Варелой [Kauffman, Varela, 1980] в статье «Динамика формы»,

поведении (!) живых существ (!): «Я буду говорить о понятиях, которые возникают, когда организация сенсомоторных взаимодействий (а также центральных процессов (кортико-цереблярно-спинальных, кортико-таламо-спинальных и т.д.)) рассматривается как имеющая по существу круговую (circular) (или, точнее, рекурсивную) природу. Рекурсия вступает в эти рассуждения всякий раз, когда изменения в ощущениях существа объясняются его движениями ( $s_i = S(m_k)$ ), а движения – ощущениями ( $m_k = M(s_i)$ ). Когда эти два счета берутся вместе, то они образуют «рекурсивные выражения», т.е. выражения, определяющие состояния (движения, ощущения) системы (существа) в терминах этих самых состояний ( $s_i = S(M(s_i)) = SM(s_j)$ ;  $m_k = M(S(m_i)) = MS(m_i)$ )» [Foerster, 1976, p. 91].

Фактически в коротком тексте о самоформах Фёрстер развивает целый набор своих долго вынашивавшихся представлений о рекурсии как фундаментальной схеме развертывания процессов разного рода. Это ясно и доходчиво обобщено в заключительных абзацах статьи:

«Было установлено, что собственные значения (eigenvalues) онтологически являются дискретными, стабильными, делимыми и компоуемыми (composable), а онтогенетически<sup>1</sup> возникают как равновесия (equilibria), которые *определяют себя* (determine themselves – выделено мною, М. И.) через круговые (circular) процессы. Онтологически собственные значения и объекты, а также онтогенетически стабильное поведение и проявление «схватывания» («grasp») объекта субъектом не могут быть разграничены (distinguished). В обоих случаях «объекты» оказываются принадлежащими (appear to reside) исключительно собственному опыту сенсомоторных координаций субъекта, т.е. «объекты» оказываются исключительно субъективными<sup>2</sup>? При каких же условиях объекты обретают «объективность»?

По-видимому, только тогда, когда субъект  $S_1$  обуславливает существование другого субъекта  $S_2$ , не похожего на него самого, который, в свою очередь, обуславливает существование еще одного субъекта, не похожего на него самого, который вполне может быть  $S_1$ .

---

развивая заделы «Законов формы» Джорджа Спенсер-Брауна [Spencer-Brown, 1969]. Сам же Луис Кауффман проделал это же относительно самоформ, слегка переименовав название статьи Фёрстера – (Eigenforms: Objects as tokens for eigenbehaviors) [Kauffman, 2003]. См. также: [Kauffman, 2009; Kauffman, 2017; Kauffman, 2023].

<sup>1</sup> Проводимое Фёрстером различие двух планов существования мира – онтологического, «вещного», реифицированного и онтогенетического, «длящегося», эволюционно-го – является крайне важным его достижением.

<sup>2</sup> Более удачным было бы слово *субъектный* (subjectal), т.е. относящееся к субъекту, а не *субъективный* (subjective), т.е. искаженный субъектом. То же справедливо для слов *объектный* (objectal) и *объективный* (objective). О различиях соответствующих значений и их коннотаций см.; [Ильин, 2020, с. 22, 31, 36–45, 66–71]. Ср. также инициативу Жана-Клода Коке по разработке субъектной семиотики (sémiotique subjectale) в пику объектной семиотике (sémiotique objectale) Альгирдаса Греймаса [Coquet, 1985].

В этом атомическом социальном контексте (atomical social context) опыт каждого субъекта (наблюдателя) в отношении его собственной сенсомоторной координации теперь может быть обозначен маркером (token) этого опыта, «объектом», который в то же время может быть принят за маркер экстернальности коммунального пространства (externality of communal space)» [Foerster, 1976, p. 94].

«Таким образом, я вернулся к топологии закрытия, – продолжает Фёрстер, вставляя квадратичную схему двух объектов и субъектов, и затем уточняет, – где равновесие достигается, когда собственные поведения одного участника порождают (рекурсивно) собственные поведения другого (см., например, приложение Пример А 2); где одна змея поедает хвост другой, как свой собственный, и где познание вычисляет свои собственные познания через познания другого: здесь истоки этики» [Foerster, 1976, p. 94–95].

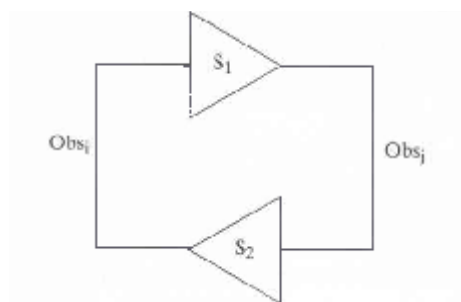


Рис. 1.  
Схема субъект – объект.

Далее в тексте для наглядности приводится рисунок Уробороса.

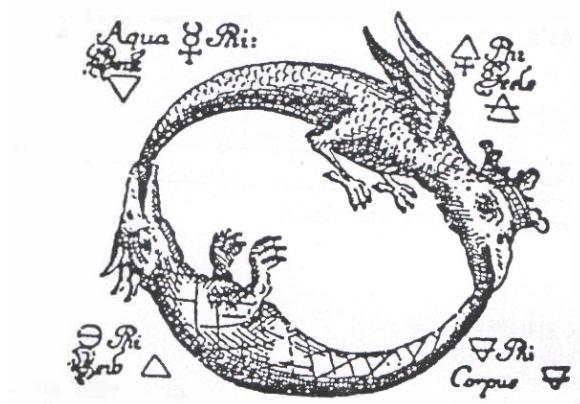


Рис 2.  
Уроборос.



Таким образом Фёрстер трактует самостоятельные значения и формы не только как онтологически дискретные и единичные «вещи» и объекты, но также как онтогенетически связанные и множественные рекурсии – добавим – с моментами действия (agency) и добавления «вещам» двойственных ролей рекурсивно взаимодействующих субъектов / объектов.

Это позволяет использовать понятие собственного поведения (eigen-behavior) для представления, описания и анализа всего происходящего в мировом пространстве-времени, а также для отдельных моментов и точек или пространственных и временных конфигураций еще и формального аппарата собственных форм (eigenforms), значений (eigenvalues) и векторов (eigenvectors). В таком случае при опоре на методы и процедуры комплекс-симплекс преобразований можно было бы смоделировать петли рекурсий, которые в череде каскадов изменений охватили эволюцию от самых простых, исходных рекурсий до наиболее изощренных, субъектно насыщенных творений людей.

Субъектную насыщенность рекурсии, моделируемой формализмом самоформы, удачно показал Луис Кауффман: «1. Собственная форма – фиксированная точка для преобразования. В этом контексте произвольное преобразование допустимо. Преобразование означает изменение. Когда мы говорим о преобразовании, то имеем в виду, что наблюдатели могут зарегистрировать изменение и начать описывать, как это изменение происходит» [Kauffman 2017, 246].

Затем он переосмысливает математический формализм в терминах семиотической прагматики и агентности: «3. Прежде чем использовать какой-либо математический формализм, подумайте над следующим предложением: «Я – тот, кто говорит я». Введение перспективы первого лица позволяет отчетливо подчеркнуть субъектность, которая имплицитно содержится уже в первом тезисе о фиксированной точке: «4. Это использование слова я является примером языковой собственной формы. Слово я относится к человеку и к тому, кто говорит. Таким образом, я могу обратиться к себе, когда говорю: «Я говорю, что собственные формы – это фиксированные точки». Но в приведенном выше предложении я само является фиксированной точкой фразы «тот, кто говорит» [там же]. Это позволяет Кауффману вернуться к математической формализации: «5. Мы можем переписать предложение как «Я тождественен с тем, кто говорит я».

Далее следует: «6. А это может символически стать «Я = тот, кто говорит Я», и таким образом Я оказывается фиксированной точкой или решением уравнения « $X = [\text{тот, кто говорит}] X$ »; « $X = F X$ » (там же).

Кауффмановское использование самоформы позволяет моделировать фрактальные умножения и усложнения процессов, возникающих из фиксированной точки. Такие умножения и усложнения фактически осуществляются не только вдоль одной фиксированной темпоральной оси, но также сразу в нескольких пространственно-временных параметрах или

измерениях. Иными словами, линейная рекурсия превращается в многомерное сворачивание.

Открывается перспектива моделирования сворачивания и разворачивания (folding / unfolding) на основе исходного формализма самоформы. Требуется, чтобы он не просто отражал ряд самоподобий, но позволял его варьировать, прежде всего по прямому и обратному ходу рекурсии, а также по фрактальному умножению и ветвлению исходных рекурсий. Таким инструментом могла бы стать инструментальная модель рекурсии с инверсивным переключением.

### **Рекурсия с инверсивным переключением (recursion with inversive switching)**

Модель рекурсии с инверсивным переключением основана на методах и методиках симплекс – комплекс преобразований, разрабатываемых в Центре перспективных методологий ИНИОН РАН в рамках проекта РНФ с 2017 г., а фактически еще на 5–6 лет ранее. Подобные преобразования позволяют реконструировать эволюционные проявления действия и соответствующих способностей и возможностей (agency) вплоть до элементарных ухищрений, включая комплементарные дуальности (внутри – снаружи, волна – частица, энергия – информация, скручивание – раскручивание и др.), интерфейс (мембрана), самозамыкание, фолдинг и т.д.

Начальным моментом моделирования является широко гипостазизируемое в современной науке взаимное исключение двух первичных состояний. Это хаос – следствие и проявление термодинамической энтропии. И это порядок – самоорганизующееся устремление негэнтропии. Действование (агентность) как феномен и действенность (агентивность) как способность возникают в ответ на необходимость различать негэнтропичный порядок от энтропичного хаоса и отделять их друг от друга. Они нацелены на регулирование отношений между ними за счет различения внешнего (*le Dehors*) и внутреннего (*le Dedans*).

Инструментально и разделение внешнего и внутреннего, и самозамыкание обеспечиваются границей между внешним и внутренним, или мембраной. Мембрана – это крайне простой инструмент, который сам себя использует. Это эволюционно исходный, предельный прототип субъекта. Мембрана порождает и регулирует текущие потоки энергии и информации между квантом и внешним миром, между его внутренним и внешним. О роли мембран прекрасно писал в своей статье об оболочках внутри оболочек Джаспер Хоффмайер [Hoffmeyer, 1998].

Сначала роль разделителя порядка и хаоса принимает на себя зыбкий интерфейс между квантами и безбрежной вселенной вокруг, затем оболочки, регулирующие жизненные метаболизмы [Hoffmeyer, 1998], наконец, социальные акторы разного рода, которые в череде усложнений

становятся полноценными субъектами. На абиотический космогенез «наслаивается» биогенез, а на него социо- и антропогенез.

Вернемся к модели рекурсии с инверсивным переключением. Образно говоря, это тройное «вальсирующее» движение. Оно включает начальное движение, затем рекурсивный разворот с замыканием и закреплением достигнутого минимума и, наконец трансфер – новое нетривиальное движение с превращением дифференциала между минимумом и максимумом возможностей в новую инструментальность. Движение продолжается, но не монотонно и предзаданно, а, возможно, даже в новом направлении и измерении. В результате усложнения модели возникают серии самоподобных действий и появляются комплексные сродства исходных трех ухищрений: репликация в виде серии возвратов, конвергенция за счет множественных усложняющих включений и аутопоэз – системный переход в новые чаемые состояния.

Безостановочное повторение циклов копирования, конвергенции и самосоздания осуществляется в режиме рекурсии. Тем самым при всех переходах сохраняется самореференция или обращенность на себя действующей инстанции (агенсу), испытывающей различные метаморфозы.

Воспроизводя свое собственное усилие в его же новой форме, мембрана, протоагент, агент и наконец полноценный социальный субъект воссоздает себя заново в форме самого себя. Это прекрасно схватывает математический аппарат собственных форм (eigenforms) и фракталов. Сплетающиеся и накапливающие циклы рекурсий с замыканием позволяют сначала осуществлять копирование, затем кодирование (= многократное перекопирование по копируемому алгоритму), а затем и интерпретацию (= выбор альтернатив кодирования). Эффект интерпретации возникает за счет преобразования пресловутого герменевтического круга в динамически «фрактализованный» процесс соединения копирований, кодирований и перекодирований в насыщенное смыслами соединение-концентрацию социального опыта взаимодействующих агентов.

Эволюционно развитые социокультурные формы требуют уже полномасштабного использования семиотики или, точнее, социальной семиотики с характерными для нее мультимодальностью, семиопозисом и логономической действенностью [Фомин, Ильин, 2019]. На этом более высоком эволюционном уровне «вальсирующие» серии действий превращаются в циклы семиозиса, который строится за счет семиотических рекурсий с участием многих перенимающих эстафету интерпретантов. Их цепочки можно сворачивать в рекурсивные последовательности, которые за счет своего нового воспроизводства сами рекурсивно сворачиваются в подобие «фрактализованного» свивания. Таким именно образом плетется социокультурная ткань. Она слой за слоем обволакивает биосоциальную и биосферную подложку, которая в свою очередь окутывает геосферные *земные миры* [Ретеюм, 1988] и превращает их в биогеоценозы и человеческие месторазвития.

Возникающая комплексная и многослойная конфигурация свертываний отдаленно напоминает матрешку. Однако она уже слишком сложна, чтобы уверенно моделироваться рекурсией с инверсивным переключением. Разумеется, эта модель как своего рода примитив принципиально ей соответствует и улавливает ее ключевые принципы в симплекс развертке. Для более адекватного моделирования требуются уже новые, ориентированные на усложнение инструменты в комплекс развертке. Таким инструментом может, вероятно, послужить *многообразие* или *манифолд* (*manifold*).

### **Многообразия (manifolds) как прототипы многослойного свертывания и развертывания (folding and unfolding)**

*Многообразия* или *манифолды* (*manifolds*) являются сложными математическими построениями, которые получили развитие в основном в теории струн и связанной с ней М-теории. По-русски многообразия было бы ближе к оригиналу назвать *многоосвертками*, или *многоосвертами*, или точнее всего *многоосвертываниями*.

Если самоформы и фракталы это в основном инструменты математического моделирования пусть даже служащие средством формального описания существенных явлений действительности, то многообразия это не только модели, но и стоящие за математическим моделированием типы пространственно-временных космических конфигураций – прежде всего макрокосма Наблюдаемой Вселенной с одной стороны и квантового микрокосма с другой.

Удачный образ подобной мега-микро конфигурации предлагает в своей популярной книге «Всего лишь шесть чисел. Глубинные силы, которые формируют Вселенную» выдающийся британский астроном и космолог Мартин Рис. Он рисует напоминающее Уроборос кольцеобразное тело змеи о двух глотающих друг друга головах. На противоположной стороне как раз в середине тела помещены фигуры мужчины и женщины. От них вправо убегают все возрастающие размерности мегакосмических масштабов, а влево – все уменьшающиеся размерности микромира. Мы, люди в самом привилегированном центре наблюдений, разворачивающихся вовне и внутрь миров – в полном соответствии с Антропным принципом. Соответствующая изменчивость явлений и пространства-времени варьируются между квантовым микромиром и космическим мегамиром от  $10^{-20}$  см (субатомные кванты) до  $10^{25}$  см (супрагалактика Наблюдаемой Вселенной) [Rees, 1999, p. 8].

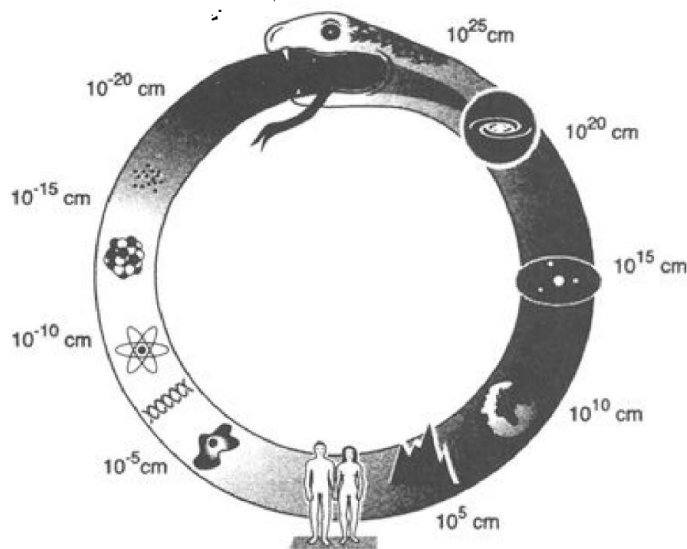


Рис. 3.

Наш человеческий мир лежит как раз посередине. Наше антропогенное и антропоцентричное лоно непосредственно и вполне естественно для нас воспринимается нами как евклидово в пространственном отношении, а в темпоральном как поток так называемого реального времени. Евклидово пространство как раз и является самым простым многообразием. Реальное же время дает возможность редуцировать более сложное пространственно-временное единство до дискретной череды темпоральных срезов евклидова пространства, а его в свою очередь до планиметрических проекций в декартовых или полярных координатах.

Можно пофантазировать и предположить, что планиметрические проекции для нас совсем не случайны. Мироздание антропоцентрично не только субъектно и субъективно. Как показал Мартин Рис на рисунке с двухголовым змием, наше расположение в пространстве-времени объектно и объективно центрально. Фёрстер мог бы сказать, что оно центрально в двух перспективах или развертках. Онтологически это статичный, свернутый в наш масштаб вид мира для нас – здесь и сейчас (*hic et nunc*). Онтогенетически – это эволюционно «развертывающиеся» (*evolving*) горизонты нашего взгляда на разбегающиеся в свои запредельные масштабы мега- и микромиры. При этом в своем «нулевом» по Мартину Рису масштабе мы непосредственно воспринимаем, «видим» мир крайне ограниченно. Его доступность нашим *сенсориям* (*sēnsōria*) или чувствилищам сведена к четырем измерениям пространства-времени. Субъектно или онтогенетически от нас самих к этому добавляются сначала перцептивные, а затем и ментальные сокращения или свертки воспринимаемой

информации. Напомню – именно с этого начинается свою статью 1977 г. Фёрстер.

Нельзя исключать того, что по мере свертывания окружающего нас мира вовнутрь, в квантовый микромир и развертывания вовне, в космический мегамир количество измерений может возрасть, а сам мир более адекватно потребует воспринимать иначе, чем нам объектно предзаданно и субъектно привычно. Требуются новые масштабы – расширенные (unfolded) или суженные (folded). Уже недостаточно восприятия лишь в одномерных измерениях линейных векторов, или в двухмерных планиметрических проекциях, или в виде трехмерных объемных фигур. Последнее уже трудновато: вспомните, как на уроках черчения нас учили представлять некую деталь в трех проекциях. Еще труднее уловить изменяющиеся у нас на глазах конфигурации четырехмерных «пульсаций» пространства-времени. Мне кажется, что это уже практически за гранью обычных человеческих возможностей. Нужны уже особые приемы и навыки.

Как вообразить и помыслить усложняющийся с увеличением размерностей мир? Математики разработали соответствующий аппарат для учета открывающихся внутри или обволакивающих нас извне многообразий (manifolds). Простейшим многообразием является трехмерное евклидово пространство, игнорирующее кривизну. Куда сложнее сферические пространства, например, практически не видимая нами непосредственно конфигурация нашей планеты. Мы способны начертить план комнаты, нашей округи или не без усилий и искажений карту небольшой страны, но адекватную карту России или Северного полушария плоскую и без разрывов сделать уже не удастся. Тем более невозможно развернуть на карте всю нашу Землю. Тут требуется уже глобус.

Оставлю в стороне формулы и математические формализмы. Более наглядно и понятно о свертывании многообразий написали авторы статьи с характерным названием «Как свернуть многообразие?» (How to fold a manifold?) Джон Скотт Картер и Сейичи Камада начинают очень простым и доходчивым представлением образа весьма непростого математического понятия многообразия: «Английское слово *manifold* порождает образ предмета, который распределен слоями или сложен ими (an object that is layered or folded). Конечно, математическое определение совершенно иное, где акцент делается на «много», например, на множественность описаний, предоставляемых координатными диаграммами, или на необходимость определения многих систем координат – своей особой для каждой точки пространства (one for each point in the space). Тем не менее существуют структуры, в которых разговорное и математическое значение совпадают. Это именно так происходит в случае накрытия или разветвляющегося накрытия (a covering space or a branched cover). Мы представляем, что многообразие сложено слоями поверх общего пространства (the base space). Согласно классической теореме Александра [Alexander, 1920], каждое компактное связное ориентируемое многообразие может быть выра-

жено как нерегулярное простое ветвящееся покрытие сферы с локусами ветвей, состоящими из подкомплекса коразмерности 2. В измерениях от двух до четырех, мы предполагаем, что локус ветвления – это конечная совокупность точек (a finite collection of points) в виде либо узла или связки (knot or link), либо переплетенной или связной поверхности (knotted or linked surface) [Hilden, 1976; Montesinos, 1976]. В настоящей статье мы демонстрируем способы (methods) свертывания подобных многообразий (methods of folding these coverings)» [Carter, Kamada, 2015, p. 31].

В терминах М-теории, одной из разновидностей теории струн, многообразия представляются с помощью так называемых *бран* («многомерных мембран»). Брана является многомерным образованием размерности меньшей, чем размерность пространства, в котором она находится. Иными словами, это некое подобие трубки. Такое пространство свертывается в само себя и усложняется по мере увеличения размерностей. Запись типа  $p$ -мерная мембрана –  $p$  обозначает количество пространственных измерений. Материальная точка – это 0-брана, струна или линия – 1-брана, мембрана или свернутая в трубку оболочка – 2-брана. Далее в теории струн по мере свертывания квантовых явлений в самих себя и нарастания количества измерений используется аппарат возрастающего числа мерностей вплоть до только осваиваемой 11-мерной М-теории. Впрочем, мыслимы и даже обсуждаются математиками еще большие мерности.

Приведенный пример показывает, что не только свертывание внутрь, которым занимается теория струн, но и развертывание вовне, а также аналогичные преобразования не только могут быть математически формализованы, но и практически служить пониманию самых разных явлений, соответствующих введенным Шрёдингером обобщающим и расплывчатым понятиям свертывания (folding) и развертывания (unfolding). В 40-х годах их было еще невозможно подкрепить конкретными данными отдельных научных дисциплин, да и сейчас удастся сделать с большим трудом и выборочно. Как бы то ни было даже нынешняя ограниченная конкретизация общего принципа свертывания / развертывания означает, что его можно и нужно применить не только для описания и интерпретации «вещных» физико-химических конфигураций двойной спирали генома, но и любых автоколебательных процессов свертывания и развертывания, фактически происходящих в живых геномах, клетках, органах, организмах, экосистемах, человеческих сообществах и всяческих антропогенных культурах, экономиках и политиках.

### **О типах свертывания и развертывания. Вместо заключения**

Очень соблазнительно пункт за пунктом прокомментировать все или хотя бы большую часть крайне значимых положений публикуемой в

МЕТОДе статьи Людмилы Беннет, а также трех статей Говарда Патти 1969, 2021 и 2023 гг. и статьи Терренса Дикона 2021 г. Это, увы, чисто технически невозможно. Статья и без того крайне разрослась, хотя о многом было сказано кратко и мимоходом. Остановлюсь лишь на одной важнейшей теме – крайне содержательных подходах Беннет к двум типам сообщений и кодирований – цифровым и аналоговым. Она существенно развивает в высшей степени плодотворные идеи выдающегося чешского ученого Антона Маркоша и его коллег [Markoš, Faltýnek, 2011; Markoš, Švorcová, Lhotský, 2013] о принципиальных различиях и возможностях этих типов сообщений и кодирования.

Рискну предположить, что в логике трех трансдисциплинарных органов-интеграторов [см. Авдонин, 2015; Ильин, 2015; Ильин, 2021; Итоги и вызовы пятилетнего проекта Центра перспективных методологий, 2021] цифровой тип сообщений и кодирования органично соответствует возможностям и аппарату метретиического исследовательского органа, а аналоговый – морфетического. Если это так, то разумно предположить, что за счет использования семиотического, т.е. преимущественно интерпретационного органа можно выделить еще один тип сообщений и кодирования, который можно охарактеризовать как семиотико-герменевтический. Очень хотелось бы, чтобы наши чешские коллеги – Маркош, Беннет, Шворкова и другие – рассмотрели и выдвинутую здесь догадку о еще одном, третьем формате кодирования.

Если мое пока зыбкое и слишком общее предположение «держит воду» (holds water), а недавние яркие публикации о роли свободы и выбора в биосемиотических процессах [Kull, 2015; Kull, 2018; Kull, 2019; Kull, 2020; Kull, 2022; Kull, 2023; Kull, Favareau, 2022; Velmezova, Kull, 2022] подкрепляют его, то вырисовывается возможность для формирования целого блока научной проблематики, связанной с изучением феноменов действия и действенности (agency).

Спонтанное локальное нарастание негэнтропии («порядок из хаоса») за счет снижения энтропии (беспорядок из порядка) может стать не случайным. Поддержание дифференциала между порядком и хаосом оборачивается в своего рода интерфейс. А он в свою очередь инструментализует действие и за счет опоры на его закрепляемые последствия присваивает (sic!) способности действовать или действенность. А тут угадывается уже субъект. Именно он инструментализует отбор различных регуляристей, появление катализа и автокатализа, автоколебательных реакций, а далее бесконечной череды эволюционных изменений. Все эти процессы в силу своего единого эволюционного характера ожидаемо могут опираться на единый же принцип-примитив и разворачиваться за счет все усложняющейся, обновляющейся и по-протеевски умножающей свои облики и проявления силы.



Данная проблема требует обсуждения не просто в отдельной статье, но скорее даже в рамках специальной рубрики. Надеюсь, что редакция поддержит это предложение.

### Список литературы

- Авдонин В.С. Трансфер знаний в эволюционных исследованиях // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН. – 2021. – Вып. 11. – Т. 1, № 4. – С. 372–393.
- Авдонин В.С. Методы в «вертикальном» измерении (метатеория и метаязыки-органоны) // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2015. – Вып. 5. – С. 265–278.
- Бернардо Каструп: Я бы поспорил с Декартом – дуальности движут вселенной, но в метафизическом дуализме субстанций нет необходимости // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2020. – С. 137–156.
- Гаспарян Д.Э. Язык как собственная форма (Eigenform) и рекурсия означающих // Философские науки. – 2018. – № 8. – С. 125–143.
- Золян С.Т. Семиопозис: становление значения в молекулярной генетике и биосемиотике // Критика и семиотика. – 2021. – № 1. – С. 57–77.
- Золян С.Т. Прагматика как самопорождение субъекта // Вопросы философии. – 2023. – № 7. – С. 93–103.
- Ильин М.В. Движущие силы эволюции // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2021. – Вып. 11. – С. 73–87.
- Ильин М.В. Люди создали себя рекурсией, референцией и оязыковлением // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2022. – Вып. 12, Т. 2, № 2. – С. 41–81.
- Ильин М.В. Семиотический, морфологический, компаративный методы анализа дискурса в междисциплинарном приложении // Бизнес. Общество. Власть. – 2015. – № 22. – С. 67–82.
- Итоги и вызовы пятилетнего проекта Центра перспективных методологий // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Вып. 11, Т. 1, № 4. – С. 126–154.
- Каструп Б. Аналитический идеализм: краткое введение и основные положения // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2020. – Вып. 10. – С. 130–136.
- Касьян А.С., Старостин Г.С. Новые методы в генеалогической классификации языков и лингвистической реконструкции // Шаги/Steps. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 206–212.
- Князева Е.Н. Энактивизм: концептуальный поворот в эпистемологии // Вопросы философии. – 2013. – № 10. – С. 91–104.
- Остапенко Г.И., Думов А.В. Как молекулы стали знаками (Реферат). Реферат статьи: Deacon T. How molecules became signs. *Biosemitotics*. 2021. Vol. 14, Issue 3. P. 537–559. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09453-9> // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – 2022. – Вып. 12, Т. 2. – № 4. – С. 115–122.
- Ретеюм А.Ю. Земные миры. О целостном изучении геосистем. – Москва: Мысль, 1988. – 266 с.
- Рис М. Всего шесть чисел. Главные силы, формирующие Вселенную. – Москва: Альпина нон-фикшн, 2018. – 226 с.
- Розов Н.С. Происхождение языка и сознания. Как социальные порядки и коммуникативные заботы порождали речевые и когнитивные способности. – Новосибирск: Манускрипт, 2022. – 355 с.

- Розов Н.С. Происхождение языка: коэволюция коммуникативных забот и знаковых структур // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва, 2021. – Вып. 11, Т. 1, № 2. – С. 115–146.
- Свирчевский Д.А. Как молекула стала сообщением? (Реферат) Реферат статьи: Pattee H.H. How does a molecule become a message? *Communication in Development. Developmental Biology Supplement* / Lang A. (ed.). New York; London: Academic Press, 1969. Vol. 3. P. 1–16 // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – 2022. – Вып. 12, Т. 2. – № 4. – С. 109–114.
- Спенсер-Браун Дж. Фрагменты из книги «Законы формы» // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. – 2016. – Вып. 6. – С. 329–332.
- Фомин И. О рубрике [«Как молекулы стали знаками, посланиями и дискурсами»] // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин. – Москва: ИНИОН, 2022. – Вып. 12, Т. 2, № 4. – С. 105–108.
- Фомин И.В., Ильин, М.В. Социальная семиотика: траектории интеграции социологического и семиотического знания // *Социологический журнал*. – 2019. – № 4. – С. 123–141.
- Юров А.В. Физика субъективного // RATIO.ru. – 2017. – Т. 18, № 1. – С. 3–25.
- Albert D.Z. A Quantum-Mechanical Automata // *Philosophy of science*. – 1987. – Vol. 54, N 4. – P. 577–585.
- Albert D.Z. On quantum-mechanical automata // *Physics Letters A*. – 1983. – Vol. 98, N 5/6. – P. 249–252.
- Alexander J.W. Note on Riemann spaces // *Bull. Amer. Math. Soc.* – 1920. – N 26. – P. 370–372.
- Burke K. Language as symbolic action: Essays on life, literature, and method. – California: Univ of California Press, 1966. – 514 p.
- Carter J.S., Kamada S. How to fold a manifold // *New ideas in low dimensional topology*. – 2015. – N 56. – P. 31–77.
- Coquet J.-C. Le discours et son sujet. Essai de grammaire modale. – Paris: Méridiens-Klincksieck, 1985. – 222 p.
- Dawkins K. The Selfish Gene. – New York: Oxford University Press, 1976. – 277 p.
- Deacon T.W. How molecules became signs // *Biosemitotics*. – 2021. – Vol. 14, № 3. – P. 537–559.
- Dronamraju K.R. Erwin Schrödinger and the origins of molecular biology // *Genetics*. – 1999. – Vol. 153 (3). – P. 1071–1076.
- Foerster H. von. Objects: tokens for (eigen) behaviors // *ASC Cybernetics Forum*. – 1976. – VIII. – 3 & 4. – P. 91–96.
- Foerster H. von Thoughts and notes on cognition. // Garvin P. (ed.) *Cognition: A multiple view*. – New York: Spartan Books, 1970. – P. 25–48.
- Forrster H. von Understanding understanding // *Essays on cybernetics and cognition*. – 2003. – P. 261–271.
- Hilden H.M. Three-fold branched coverings of S<sup>3</sup> // *Amer. J. Math.* – 1976. – N 98. – P. 989–997.
- Hoffmeyer J. Surfaces inside surfaces: On the origin of agency and life // *Cybernetics & Human Knowing*. – 1998. – Vol. 5(1). – P. 33–42.
- Huxley J. Evolution: The Modern Synthesis. – London, 1942. – 652 p.
- Iori M., R. Piergallini 4-manifolds as covers of the 4-sphere branched over non-singular surfaces // *Geom. Topol.* – 2002. – N 6. – P. 393–401.
- Jacob F. The Logic of Life: A History of Heredity (B.E. Spillmann. Trans.). – New York: Pantheon Books, 1982. – 376 p.
- Jakobson R.O. Linguistics and Its Relation to Other Science // *Main Trends of Research in Social and Human Sciences. Part 1. Social Sciences*. – Paris: Mouton, 1973. – P. 419–463.
- Kant I. Kritik der praktischen Vernunft // Kant I. *Gesammelte Schriften*. – Berlin: Reimer, 1913. – S. 1–163.
- Kauffman L. Eigenforms-Objects as tokens for eigenbehaviors // *Cybernetics & Human Knowing*. – 2003. – Vol. 10. – N 3/4. – P. 73–90.

- Kauffman L.H. A concise approach to eigenform and reflexivity // *Kybernetes*. – 2017. – Vol. 46, N 9. – P. 1542–1554.
- Kauffman L.H. Autopoiesis, Autonomy, and Eigenform // *Journal of Consciousness Studies*. – 2023. – Vol. 30, N 11/12. – P. 47–79.
- Kauffman L.H. Reflexivity and Eigenform: The Shape of Process // *Constructivist Foundations*. – 2009. – № 4(3). – P. 121–137.
- Kauffman L.H., Varela, F.J. Form dynamics // *Journal of Social and Biological Structures*. – 1980. – Vol. 3, № 2. – P. 171–206.
- Kull K. Evolution, choice, and scaffolding: Semiosis is changing its own building // *Biosemiotics*. – 2015. – № 8. – P. 223–234.
- Kull K. Semiotic fitting and the nativeness of community // *Biosemiotics*. – 2020. – N 13. – P. 9–19.
- Kull K. The biosemiotic fundamentals of aesthetics: beauty is the perfect semiotic fitting // *Biosemiotics*. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 1–22.
- Kull K. Choosing and learning: Semiosis means choice // *Σημειωτική-Sign Systems Studies*. – 2018. – № 46(4). – P. 452–466.
- Kull K. Further considerations on semiosis in evolution: Arbitrariness plus semiotic fitting, and/or mutability plus natural selection // *Σημειωτική-Sign Systems Studies*. – 2023. – Vol. 51, № 1. – P. 171–194.
- Kull K. Jakob von Uexküll and the study of primary meaning-making 1 // *Jakob von Uexküll and Philosophy*. – Routledge, 2019. – P. 220–237.
- Kull K., Favareau D. There is Umwelt before consciousness, and learning transverses both // *Biosemiotics*. – 2022. – Vol. 15, № 3. – P. 491–495.
- Lacková Ľ. *A Linguistic Approach to Protein Folding. Towards a Semiotic Description of Living Systems*: PhD dissertation, Palacký University, Olomouc, Czech Republic. – 2018. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/349043013\\_A\\_Linguistic\\_Approach\\_to\\_Protein\\_Folding\\_Towards\\_a\\_Semiotic\\_Description\\_of\\_Living\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/349043013_A_Linguistic_Approach_to_Protein_Folding_Towards_a_Semiotic_Description_of_Living_Systems) (дата посещения: 03.03.2024).
- Lacková Ľ. Logic of Relatives as Syntax in the Genetic Code // Bisanz E.: *Peirce Studies 10 th Applied Interdisciplinary Peirce Studies*. – Peter Lang: Texas Tech University, 2019 a. – P. 189–204.
- Lacková Ľ. Towards a Processual Approach in Protein Studies // *Biosemiotics*. – 2019 b. – Vol. 12. – P. 469–480.
- Lacková Ľ. In the fold of the manifold: A reflection on Bloomsbury semiotics // *Cognitive Semiotics*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 69–89.
- Mahnke M., Uprichard E. Algorithming the Algorithm // *Society of the Query Reader: Reflections on Web Search*. – 2014. – P. 256–270.
- Markoš, A., Faltýnek, D. Language metaphors of life // *Biosemiotics*. – 2011. – № 4. – P. 171–200.
- Markoš A., Švorcová J., Lhotský J. Living as Language: Distributed Knowledge in Living Beings // Stephen J. Cowley, Frédéric Vallée-Tourangeau (Ed.) *Cognition Beyond the Brain*. – Springer, 2013. – P. 71–92. – DOI: 10.1007/978-1-4471-5125-8\_5
- Maturana H.R. Neurophysiology of cognition. // Garvin P. (ed.) *Cognition: A multiple view*. – New York: Spartan Books, 1970. – P. 3–23
- Maturana Humberto R., Varela Francisco J. *Autopoiesis and cognition: the realization of the living* // *Boston studies in the philosophy and history of science*. – 1 ed. – Dordrecht: Reidel, 1972. – 141 p.
- Montesinos J.M. Three-manifolds as 3-fold branched covers of  $S^3$  // *Quart J. Math. Oxford Ser.* – 1976. – Vol. 2, № 27. – P. 85–94.
- Muller H.J. The gene as the basis of life // *Proceedings of the International Congress of Plant Sciences*. – Menasha: George Banta, 1929. – Vol. 1. – P. 897–921.
- Muller, H.J. Variation due to change in the individual gene // *The American Naturalist*. – 1922. – Vol. 56. – № 642 – P. 32–50.

- Pattee H.H. How does a molecule become a message? // *Communication in Development. Developmental Biology Supplement* / Lang A. (ed.). – New York; London: Academic Press, 1969. – Vol. 3. – P. 1–16.
- Pattee H. Symbol Grounding Precedes Interpretation // *Biosemiotics*. – 2021. – Vol. 14. – P. 561–568. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12304-021-09458-4>
- Peirce C.S. Questions concerning certain faculties claimed for man // *The Journal of Speculative Philosophy*. – 1868. – Vol. 2. – № 2. – P. 103–114.
- Pelc J. Semiosis and semiotics vs. semiotics // *Semiotica*. – 2000. – Vol. 128, № 3/4. – P. 425–434.
- Perutz M.F. Erwin Schrödinger's What is life? and molecular biology // Kilmister C.W. (Ed.). *Schrödinger: centenary celebration of a polymath*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1987. – P. 234–251.
- Rees M. Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe. – New York: Basic, 1999. – 184 p.
- Schiller F. Über die ästhetische Erziehung des Menschen in einer Reihe von Briefen. – Die Horen, 1795. – 1. – S. 7–48; 2. – S. 51–94.
- Schrödinger E. What Is Life? – Cambridge: Cambridge University Press, 1944. – 184 p.
- Schrödinger E. What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 184 p.
- Scott B. Heinz von Foerster an appreciation (revisited) // *Cybernetics & human knowing*. – 2003. – Vol. 10, N 3/4. – P. 137–149.
- Sharov A., Tønnessen M. *Semiotic Agency: Science beyond Mechanism*. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – 372 p.
- Spencer-Brown G. Laws of form. – London: Allen & Unwin, 1969. – 165 p.
- Sterelny K. From hominins to humans: how sapiens became behaviourally modern // *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 366, № 1566. – P. 809–822.
- Švorcová J. Markoš A. *Epigenetic processes and evolution of life*. – CRC Press, 2019. – 240 p.
- Teilhard de Chardin P. Le phénomène humain. – Paris: Seulle. – 1955.
- Tilly C. Big Structures, Large Processes, Huge Comparisons. – New York: Russel Sage Foundation, 1984. – 192 p.
- Timofeeff-Ressovsky N.W., Zimmer K.G., Delbruck M. // *Nachrichten aus der Biologie der Gesellschaft der Wissenschaften Göttingen*. – 1935. – № 1. – S. 189–245.
- Varela F.J. The Early Days of Autopoiesis: Heinz and Chili // *Systems Research*. – 1996. – Vol. 13, № 3. – P. 408–409.
- Varn D.P., Crutchfield J.P. What did Erwin mean? The physics of information from the materials genomics of aperiodic crystals and water to molecular information catalysts and life // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2016. – Vol. 374, № 2063. – P. 20150067.
- Velmezova E., Kull K. A paradox of the «semiotics of life»: Juri Lotman's later works // *LEXIA. RIVISTA DI SEMIOTIC*. – 2022. – № 39/40. – P. 89.
- Vivre et parler – Un débat entre François Jacob, Roman Jakobson, Claude Lévi-Strauss, et Philippe L'Héritier // *Les lettres françaises*. – N 1221, Févr. 14–20. – 1968. – P. 3–7; № 1222, Févr. 21–28. – P. 4–5
- Waddington C.H. Canalization of development and the inheritance of acquired characters // *Nature*. – 1942. – № 150(3811). – P. 563–565.
- Waddington C.H. Epigenetics and evolution // *Symp. Soc. Exp. Biol.* – 1953. – № 7. – P. 186–199.
- Waddington C.H. *How Animals Develop*. – London: George Allen & Unwin, 1946. – 144 p.
- Waddington C.H. *Organisers & Genes*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1940. – 160 p.
- Wittgenstein L. Philosophical investigations. Philosophische untersuchungen. – Wittgenstein L. Philosophical investigations. Philosophische untersuchungen. – Macmillan, 1953. – 592 p.

*Wolf F.A.* On Quantum Mechanical Automata, Gödel Numbers, and Self-Referring Consciousness // *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*. – 2018. – Vol. 14, № 1. – P. 217–246.

*Yurov A.V.* The Gödelizing Quantum-Mechanical Automata // arXiv. –2003. – Preprint quantph/0301004.

**Mikhail Ilyin<sup>1</sup>**

**Models of folding and unfolding  
in the general evolution of the Universe**

*Abstract.* The English term *protein folding* retains its original metaphorical and figurative character. The word *folding* continues to be polysemic both in everyday speech and in scientific parlance. In the vein of Wittgenstein's language games, the words *folding*, *grounding*, *modelling* and others, as well as their Russian correspondences, are tested with the help of speech-thought tryouts. Paradoxical mishaps of the trials indicate a kind of psycho-verbal fallacy, which provokes a misperception of developing biological and social phenomena and processes of emerging, evolving, coding, programming, etc. as data-based static «hard objects» or «things apart». This fallacy is entrenched in the prevailing linguistic apparatus and traditional grammar, as well as in classical logic and outdated positivist dogmas of science. The urgent scientific task is to find ways to overcome the psycho-verbal fallacy. To this end it is necessary to distinguish the processes and their results as clearly as possible, both by means of traditional linguistic and logical apparatus and by means of communicative experiments. In particular, the paper focuses on *modus operandi* of processes, their multimodal combination, as well as subsequent embedding, embodying and grounding. The analysis then turns to fundamental patterns of folding. These are eigenforms and the fractals they generate. All of these, in the end, helps to reevaluate of both the processes of folding the double helix of the genome and the resulting outcome of protein «body», as well as the folding of acts of semiosis and obtaining its resultant «texts» and the «inscribed» executable algorithms.

*Keywords:* protein folding; code folding; symbol embodiment; interpretation; translation.

*For citation:* Ilyin M. (2023). Models of folding and unfolding in the general evolution of the Universe. *METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION*. – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 174–209. DOI: 10.31249/metod/2023.04.10

## References

*Albert D.Z.* (1987). A Quantum-Mechanical Automation *Philosophy of science* 54, (4) 4, 577–585.

*Albert D.Z.* (1983). On quantum-mechanical automata *Physics Letters A*, 98, (5/6), 249–252.

*Alexander J.W.* (1920). Note on Riemann spaces, *Bull. Amer. Math. Soc.* 26, 370–372

*Avdonin V.S.* (2020). Knowledge transfer in evolutionary studies. *METHOD*, 11, 1(4), 105–125.

(In Russ.)

*Avdonin, V.S.* (2015). Methods in the «vertical» dimension (metatheory and metalanguages-organons). *METHOD: Moscow yearbook of works from social science disciplines*, (5), 265–278. (In Russ.)

---

<sup>1</sup> **Ilyin Mikhail Vasilyevich**, doctor of political sciences, professor, chief researcher at INION RAN, research professor at HSE; mikhaililyin48@gmail.com

- Bernardo Kastrup (2020): I would argue with Descartes – dualities drive the universe, but there is no need for metaphysical dualism of substances. *METHOD*, pp. 137–156. (In Russ.)
- Burke, K. (1966). *Language as symbolic action: Essays on life, literature, and method*. Univ of California Press.
- Carter, J.S., & Kamada, S. (2015). How to fold a manifold. *New ideas in low dimensional topology*, 56, 31–77.
- Coquet, J.-C. (1985). Le discours et son sujet. *Essai de grammaire modale* P.: Méridiens-Klincksieck.
- Dawkins, K. (1976). *The Selfish Gene*. N.Y.: Oxford University Press
- Deacon, T.W. (2021). How molecules became signs. *Biosemitotics*, 14(3), 537–559.
- Dronamraju, K.R. (1999). Erwin Schrödinger and the origins of molecular biology. *Genetics*, 153(3), 1071–1076.
- Foerster H. (1970). Thoughts and notes on cognition. In: Garvin P. (ed.) *Cognition: A multiple view*. Spartan Books, New York: 25–48.
- Foerster H. (1976). Objects: tokens for (eigen) behaviors. *ASC Cybernetics Forum*, VIII, (3 & 4), 91–96.
- Fomin I. (2022). On the rubric [“How Molecules Became Signs, Messages, and Discourses”] *METHOD*, Issue 12. 2(4), 105–108. (In Russ.)
- Fomin, I.V., & Ilyin, M.V. (2019). Social Semiotics: Trajectories of Integration of Sociological and Semiotic Knowledge. *Sociological Journal*, (4), 123–141. (In Russ.)
- Forrster H. (2003). *Understanding understanding: Essays on cybernetics and cognition*, 261–271.
- Gasparyan D.E. (2018) Language as its own form (Eigenform) and the recursion of signifiers *Philosophical sciences*. 8, 125–143. (In Russ.)
- Hilden H.M. (1976) Three-fold branched coverings of S<sup>3</sup>, *Amer. J. Math.* 98, 989–997.
- Hoffmeyer J. (1998) Surfaces inside surfaces: On the origin of agency and life // *Cybernetics & Human Knowing*, Vol. 5 (1), 1998, 33–42.
- Huxley, J. (1942). *Evolution: The Modern Synthesis*.
- Ilyin M.V. (2021). Driving Forces of Evolution *METHOD*, Issue 11, 73–87. (In Russ.)
- Ilyin M.V. (2022). People created themselves through recursion, reference, and linguistics *METHOD*, Issue 12, 2(2), 41–81 (In Russ.)
- Ilyin, M.V. (2015). Semiotic, Morphological, and Comparative Methods of Discourse Analysis in an Interdisciplinary Application. *Business. Society. Power*, (22), 67–82. (In Russ.)
- Iori M. & R. Piergallini (2002) 4-manifolds as covers of the 4-sphere branched over non-singular surfaces, *Geom. Topol.* 6, 393–401.
- Jacob F. (1973) *The Logic of Life: A History of Heredity* (B.E. Spillmann. Trans.). New York: Pantheon Books.
- Jakobson R.O. (1970). Linguistics and Its Relation to Other Science. In: *Main Trends of Research in Social and Human Sciences. Part I. Social Sciences* (pp. 419–463). Paris: Mouton.
- Kant I. (1913). *Kritik der praktischen Vernunft*. Kant I. *Gesammelte Schriften*. Berlin: Reimer, S. 1–163.
- Kastrup, B. (2020). Analytical idealism: a brief introduction and main provisions. *METHOD* pp. 130–136. (In Russ.)
- Kasyan A.S., Starostin G.S. (2015) New methods in the genealogical classification of languages and linguistic reconstruction. *Steps*, 1(1), 206–212. (In Russ.)
- Kauffman, L. (2003). Eigenforms-Objects as tokens for eigenbehaviors. *Cybernetics & Human Knowing*, 10(3–4), 73–90.
- Kauffman, L.H. (2009). Reflexivity and Eigenform: The Shape of Process. *Constructivist Foundations*, 4(3).
- Kauffman, L.H. (2017). A concise approach to eigenform and reflexivity. *Kybernetes*, 46(9), 1542–1554.

- Kauffman, L.H. (2023). Autopoiesis, Autonomy, and Eigenform. *Journal of Consciousness Studies*, 30(11–12), 47–79.
- Kauffman, L.H., & Varela, F.J. (1980). Form dynamics. *Journal of Social and Biological Structures*, 3(2), 171–206.
- Knyazeva E.N. (2013) Enactivism: A Conceptual Turn in Epistemology *Questions of Philosophy*. 10, 91–104. (In Russ.)
- Kull, K. (2015). Evolution, choice, and scaffolding: Semiosis is changing its own building. *Biosemiotics*, 8, 223–234.
- Kull, K. (2018). Choosing and learning: Semiosis means choice. *Σημειωτική-Sign Systems Studies*, 46(4), 452–466.
- Kull, K. (2019). Jakob von Uexküll and the study of primary meaning-making 1. In *Jakob von Uexküll and Philosophy* (pp. 220–237). Routledge.
- Kull, K. (2020). Semiotic fitting and the nativeness of community. *Biosemiotics*, 13, 9–19.
- Kull, K. (2022). The biosemiotic fundamentals of aesthetics: beauty is the perfect semiotic fitting. *Biosemiotics*, 15(1), 1–22.
- Kull, K. (2023). Further considerations on semiosis in evolution: Arbitrariness plus semiotic fitting, and/or mutability plus natural selection. *Σημειωτική-Sign Systems Studies*, 51(1), 171–194.
- Kull, K., & Favareau, D. (2022). There is Umwelt before consciousness, and learning transverses both. *Biosemiotics*, 15(3), 491–495.
- Lacková L. (2018): *A Linguistic Approach to Protein Folding. Towards a Semiotic Description of Living Systems*. PhD dissertation, Palacký University, Olomouc, Czech Republic
- Lacková L. (2019 a): Logic of Relatives as Syntax in the Genetic Code. In Bisanz, E.: *Peirce Studies 10 th Applied Interdisciplinary Peirce Studies*. Peter Lang: Texas Tech University, pp. 189–204.
- Lacková, L. (2019 b). Towards a Processual Approach in Protein Studies. *Biosemiotics* 12, 469–480 (2019).
- Lacková, L. (2023). In the fold of the manifold: A reflection on Bloomsbury semiotics. *Cognitive Semiotics*, 16(1), 69–89.
- Mahnke M., Uprichard E. Algorithming the Algorithm. *Society of the Query Reader: Reflections on Web Search*. – 2014. – Pp. 256–270.
- Mahnke, M., & Uprichard, E. (2014). Algorithming the Algorithm. In *Society of the Query Reader: Reflections on Web Search* (pp. 256–270).
- Markoš, A., & Faltýnek, D. (2011). Language metaphors of life. *Biosemiotics*, 4, 171–200.
- Maturana H.R. (1970). Neurophysiology of cognition. In: Garvin P. (ed.) *Cognition: A multiple view*. Spartan Books, New York: 3–23.
- Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. (1972). *Autopoiesis and cognition: the realization of the living*. Boston studies in the philosophy and history of science (1 ed.). Dordrecht: Reidel.
- Montesinos J.M. (1976). Three-manifolds as 3-fold branched covers of S<sup>3</sup>, Quart. J. Math. Oxford Ser. (2) 27, 85–94.
- Muller, H.J. (1922). Variation due to change in the individual gene. *The American Naturalist*, 56(642), 32–50.
- Muller, H.J. (1929). The gene as the basis of life. In *Proceedings of the International Congress of Plant Sciences* (Vol. 1, pp. 897–921). Menasha: George Banta.
- Muller, H.J. (1929), ‘The Gene as the Basis of Life’, *Proceedings of the International Congress of Plant Sciences* 1: 897–921. Menasha: George Banta.
- Ostapenko, G.I., & Dumov, A.V. (2022). How Molecules Became Signs (Abstract). *METHOD: Moscow Yearbook of Works from Social Sciences*, (12–4), 115–122. (In Russ.)
- Pattee, H.H. (1969). How does a molecule become a message? *Communication in Development*, Anton L (ed) *Developmental Biology Supplement*.
- Peirce C.S. (1868). Questions concerning certain faculties claimed for man. *The Journal of Speculative Philosophy*. 2(2), 103–114.

- Pelc J. (2000). Semiosis and semiotics vs. semiotics. *Semiotica*. 128, (3–4), 425–434.
- Pelc, J. (2000). Semiosis and semiotics vs. semiotics. *Semiotica*, 128(3–4).
- Perutz, M.F. (1987). Erwin Schrödinger's What is life? and molecular biology. Kilmister, C.W. (Ed.). (1987). *Schrödinger: centenary celebration of a polymath*. Cambridge University Press. 234–251.
- Perutz, M.F. (1987). Physics and the riddle of life. *Nature*, 326(6113), 555–558.
- Rees, M. (1999). Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe. *New York, Basic*.
- Results and challenges of the five-year project of the Center for Advanced Methodologie (2021) *METHOD.M. INION*. – Vol. 1, No. 4. – Pp. 126–154. (In Russ.)
- Reteyum A.Yu. (1988) Earthly Worlds. On the Holistic Study of Geosystems. Moscow: Mysl, 266 p. (In Russ.)
- Ris M. (2018) Only Six Numbers. The Main Forces Forming the Universe. Moscow: Alpina Non-Fiction, 226 p. (In Russ.)
- Rozov N.S. (2021). The Origin of Language: Coevolution of Communicative Concerns and Sign Structures *METHOD*, Vol. 1(2), 115–146. (In Russ.)
- Rozov, N.S. Anthropogenesis – Coevolution of Concerns and Structures. Theoretical Explanations of the Emergence and Peculiarities of Humanity. (In press) (In Russ.)
- Rozov, N.S. (2022) The Origin of Language and Consciousness. How Social Orders and Communicative Concerns Generated Speech and Cognitive Abilities. Novosibirsk: Manuscript, 355 p. (In Russ.)
- Schrödinger, E. (1944). What Is Life? Camb.: Cambridge University Press
- Schrödinger, E. (1992). *What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches*. Camb.: Cambridge University Press.
- Scott, B. (2003). Heinz von Foerster an appreciation (revisited). *Cybernetics & human knowing*, 10(3–4), 137–149.
- Sharov, A., & Tønnessen, M. (2021). *Semiotic Agency: Science beyond Mechanism*. Cham: Springer International Publishing.
- Schiller F. (1795). Über die ästhetische Erziehung des Menschen in einer Reihe von Briefen. Die Horen, 1795. 1.7–48; 2. 51–94.
- Spencer-Brown J. (2016). Fragments from the book “Laws of Form” *METHOD*, Issue 6, 2016, pp. 329–332 (In Russ.)
- Sterelny K. (2011). From hominins to humans: how sapiens became behaviourally modern *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*. Vol. 366, N 1566. – P. 809–822.
- Svirchevsky, D.A. (2022). How Did a Molecule Become a Message?. *METHOD: Moscow Year-book of Works from Social Sciences*, (12–4), 109–114. (In Russ.)
- Švorcová, J., & Markoš, A. (2019). *Epigenetic processes and evolution of life*. CRC Press.
- Teilhard de Chardin, P. (1955). *Le phénomène humain*.
- Tilly C. Big Structures, Large Processes, Huge Comparisons. New York: Russel Sage Foundaion, 1984. 192 p.
- Timofeeff-Ressovsky, N.W., Zimmer, K.G. and Delbruck, M. (1935) *Nachrichten aus der Biologie der Gesellschaft der Wissenschaften Gottingen* 1, 189–245.
- Varela F.J. (1996) The Early Days of Autopoiesis: Heinz and Chili *Systems Research*. Vol. 13. № 3. P. 408–409.
- Varn, D.P., & Crutchfield, J.P. (2016). What did Erwin mean? The physics of information from the materials genomics of aperiodic crystals and water to molecular information catalysts and life. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2063), 20150067.
- Velmezova, E., & Kull, K. (2022). A paradox of the «semiotics of life»: Juri Lotman's later works. *LEXIA. RIVISTA DI SEMIOTICA*, 39–40, 89.



- Vivre et parler – Un débat entre François Jacob, Roman Jakobson, Claude Lévi-Strauss, et Philippe L'Héritier. (1968) *Les lettres françaises*, No. 1221 (Févr. 14–20), pp. 3–7, No. 1222 (Févr. 21–28), pp. 4–5.
- Waddington, C.H. (1940). *Organisers & Genes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Waddington, C.H. (1942). Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature* 150 (3811):563–565.
- Waddington, C.H. (1946). *How Animals Develop*. London: George Allen & Unwin.
- Waddington, C.H. 1953. Epigenetics and evolution. *Symp. Soc. Exp. Biol* 7:186–199.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations. Philosophische untersuchungen*. Macmillan.
- Wolf F.A. (2018). On Quantum Mechanical Automata, Gödel Numbers, and Self-Referring Consciousness Cosmos and History: *The Journal of Natural and Social Philosophy*. 14(1) 217–246.
- Yurov A.V. (2017). Physics of the Subjective *RATIO.ru*. 18 (1), 3–25. (In Russ.)
- Yurov A.V. (2003). The Gödelizing Quantum-Mechanical Automata. arXiv.Preprint quantph/0301004.
- Zolyan S.T. (2023). Pragmatics as Self-Generation of the Subject *Questions of Philosophy*, 7, 93–103 (In Russ.)
- Zolyan S.T. (2021). Semiopoiesis: Formation of Meaning in Molecular Genetics and Biosemiotics *Critique and Semiotics*. 157–77. (In Russ.)

**Часовских Г.А.<sup>1</sup>**

**Эссе Чарльза Пирса «Эволюционная любовь»  
в контексте его взглядов на эволюцию человека<sup>2</sup>**

*Аннотация.* В эссе «Эволюционная любовь» Ч. Пирс затрагивает тему этических отношений и перспективу взгляда на них через призму своего специфического понимания эволюционизма. В нем же дается реконструкция аргументов философа, смещающая акценты с метафизических построений на идеологическую критику и понимание природы эволюционизма с человеческими отношениями. Так, в описаниях видов эволюции содержится критика рационального эгоизма, а также примитивизации механистического взгляда на эволюцию. В данной работе также можно обнаружить критический потенциал идей Ч. Пирса в отношении адапционизма и актуальность его идей в контексте некоторых идей современных эволюционизма, морали и культурной эволюции.

*Ключевые слова:* Ч. Пирс; эволюционная любовь; эволюция морали; эволюционная теория; адаптация; механицизм; прогресс; культурная эволюция; природа человека; агапизм.

*Для цитирования:* Часовских Г.А. Эссе Чарльза Пирса «Эволюционная любовь» в контексте его взглядов на эволюцию человека // МЕТОД: Московский ежеквартальник трудов из обществоведческих дисциплин / РАН, ИНИОН. – Москва, 2023. – Вып. 13, Т. 3, № 4. – С. 210–217. – DOI: 10.31249/metod/2023.04.11

У Чарльза Пирса нет непротиворечивого отношения к имплементации эволюции на поведение человека. В целом такое впечатление создается от прочтения его отдельных работ и распространено среди исследователей трудов философа. Так, в оксфордском пособии по эволюционной этике, авторы отмечают, что даже говоря о поведении и морали, Пирса интересует метод, в то время, как функционалистский дескриптивный подход скорее свойственен Дьюи [Ruse, 2017, p. 4] [Eddy, 2015]. Дж. Лиц-

---

<sup>1</sup> Часовских Григорий Александрович, магистр философии, аспирант НИУ Высшая школа экономики, преподаватель кафедры биоэтики и международного медицинского права ЮНЕСКО, РНИМУ им. Пирогова, 19 sub@mail.ru

<sup>2</sup> Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 22-18-00383 «Междисциплинарные методологические основания расширенного эволюционного синтеза в науках о жизни и обществе» в Институте научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН).

ка в своей недавней книге поддерживает мысль, что для Пирса эволюция не играет первую роль в его взгляде на организацию социальных отношений и морали [Liszka, 2021]. Более того, философ высказывался о том, что вопрос описания эволюционной природы возникновения морали для человеческого общества чреват обесцениванием магии «морального долга». Вместе с этим, в работах Пирса встречаются яркие образы мышления эволюции, как фундаментального онтологического принципа, описывающего как законы мироздания, так и отношения между людьми. Но кроме этого, примечательна и его критика примитивизации эволюционных процессов, вкупе с абсолютно справедливой деконструкцией смешения экономических предпочтений и научных предположений.

Примечательным примером такой работы является эссе «Эволюционная любовь», написанное Пирсом в 1890 г. [Пирс, 2000, с. 376]. Несмотря на небольшие объемы, в нем философу удается совместить и свое описание творческих начал мироздания, человеческих отношений и любви. Однако Пирс не ограничился и этим, добавив в работу критику методологических подходов к приложению эволюции к человеческим отношениям.

Вслед за Пирсом, следует прежде объяснить почему он написал об этом и написал так. В первой части работы он описывает современные ему представления о «человеке экономическом», устоявшейся модели образа рационального эгоиста, в котором все высшие проявления собственно человеческого являются суть побочными эффектами его индивидуальной выгоды. Положение Пирса оказывается непростым: в некотором смысле он выступает скорее в оппозиции к устоявшимся идеологическим тропам, которые можно обозначить условно как либеральный и социалистический. Так, он пишет: «Итак, скупец является благотворной силой в обществе, не так ли? На том же основании, но только гораздо успешней, можно провозгласить какого-нибудь жулика с Уолл-Стрит добрым ангелом, отбирающим деньги у неосторожных людей, вряд ли способных хорошо с ними управиться» [Пирс, 2000, с. 383].

Однако эта подводка нужна Пирсу не для классовой критики. Продолжая, Пирс пишет о благотворительности: «В том же духе всегда поддерживалось и сегодня широко распространено убеждение, что все акты благотворительности и щедрые благодеяния, частные и публичные, могут серьезно испортить человеческий род» [Пирс, 2000, с. 383]. Нетрудно догадаться, что мы наблюдаем прямую критику Г. Спенсера. Так, в «Этике общественной жизни» этот социолог писал: «Если неразборчивая филантропия силой отнимает у лучших средства к существованию для того, чтобы облегчить жизнь худшим, то лучшие, большинство из которых и так обладает недостаточными средствами для хорошего воспитания своих детей, лишаются и этих средств, тогда как жизнь детей худших соответственно искусственно поддерживается» [Спенсер, 2015, с. 254].

Действительно, Спенсер выступал противником «избыточного» и «неразборчивого» альтруизма, что также послужило причиной яркой кри-

тики его работ П.А. Кропоткиным [Кропоткин, 1991]. При этом, его позиция не считалась маргинальной – Спенсер был одним из первых, кто в такой полноте и объеме пытался интегрировать эволюционные идеи в представления об обществе того времени, авторитет его как мыслителя был исключителен. Представление о том, что кооперация вторична корыстным (эгоистичным) целям, вкупе с нарративом о жестокой и беспощадной природе, а также весьма наивные детерминистские импликации из подобных представлений разделялись также и Т. Хаксли и едва ли не были идеологизированы. Однако, они критиковались уже и современниками. Тот же Кропоткин призывал обратиться к эмпирическим наблюдениям. Пирс же предлагал оглянуться и хотя бы посмотреть на самих себя: «Экономисты обвиняют тех, у кого «откровения» их отвратительной подлости вызывают дрожь ужаса, в том, что они сентименталисты. Может, оно и так: я охотно признаю, что мне, слава богу, свойствен некоторый сентиментализм!» [Пирс, 2000, с. 382]. Подобные мысли сближают философа с моральным сентиментализмом Э. Шефтсбери, влияние работ которого на Пирса также отмечается исследователями [Liszka, 2021, p. 35].

Впрочем, несмотря на популярность не симпатичных Пирсу идей, философ озвучивает некоторый оптимизм касаясь их перспектив: «Можно предложить ввести ограничения на плодovitость бедняков и злодеев; и “никакая мера не будет слишком строгой” в отношении преступников. Намек очень широкий. Но, к сожалению, нельзя побудить законодателей принять подобные меры, ввиду вредных и заразительных “нежных чувств человека к человеку”» [Пирс, 2000, с. 381]. Именно эти «нежные чувства», оказываются созидательным стремлением человека к человеку, являясь одной из форм эволюции. Пирс определяет ее как *агапантический вид любви*, или агапизм, отмечая творческое начало как ее имманентную характеристику.

Кроме агапизма, как творческому стремлению к человеку, в своем эссе, Пирс выделяет еще два вида эволюции: *ананказм* и *тюхизм*. Если мы вернемся к его критике примитивного понимания человеческих отношений, как взаимодействия эгоистических агентов, то Пирс привязывает такой механистический образ ананказму. Ананкастическая эволюция, или ананказм – эволюция в силу механической необходимости. Пирс понимает ее скорее как избыточную рационализацию не только человеческих агентов, но и всего природного процесса. Подобный подход сейчас напоминает адаптационистский взгляд на эволюцию, в котором она ошибочно ассоциируется с рациональной целесообразностью. Пирс полагает, что наивно игнорировать эмоциональную составляющую агентов, противопоставляя этот взгляд агапизму. Философ отмечает, что стремления человека к ближнему ни по силе, ни по частоте не уступает корыстным порывам. Также в этом его эссе особенно чувствуется небольшая досада на то, что Дарвин оказывается проводником «полит-экономического» взгляда на природу человека. С другой стороны, обращаясь непосредственно к Дар-

вину и концепции случайных изменений, философ отмечает, что механицизм не может претендовать на универсальную модель, именно по причине противоречия в отношениях со случайностью, также являющейся неотъемлемым фактором эволюции.

Так, следует перейти к еще одному описанному Пирсом понятию эволюции методом случайных изменений – тьюхастическому виду или тьюхизму. В этом виде развитие происходит стихийно, со своими падениями и подъемами, однако в целом стремясь к предзаданной гармонии. Если случайность и стихийность ясны сами по себе, Пирс к сожалению, не объясняет свое понимание мировой гармонии, связывая его с христианским пониманием [Пирс, 2000, с. 393]. При этом гармония является ключевой также и для агапизма. В этом аспекте «предзаданность гармонии», эстетизация сложившегося порядка вещей у Пирса все-таки подменяет собственными оценочными суждениями дескрипцию как таковую. В этом философ снова напоминает Э. Шефтсберри, писавшего хотя и задолго до Дарвина, тоже тяготевшего к натурализации описания человеческого поведения и отмечая его преимуществом миру животному. Пирс, подобно Шефтсберри, отличается яркостью метафор в своем описании природных отношений. Так, описывая концепт борьбы видов за успех в естественном отборе, философ использует аналогию с проигрывающимися картежниками, что со временем лишь насыщают наиболее успешных игроков. Можно было бы возразить, что подобная аналогия не учитывает стохастических факторов внешней среды, способных менять критерии «успешности» и приводить доминирующие виды к вымиранию. Но, с другой стороны, и неудачный игрок имеет вероятность перевернуть стол.

Наиболее значимым для Пирса оказывается агапизм как форма эволюции и одновременно любви. Цель агапизма указывается в самом определении: этот вид любви – не аффективный порыв, не завязанный на страсти, но творческое стремление к человеку. Сила этого вида определяется «во-первых, благодаря отдаче родителем спонтанной энергии своему отпрыску, и, во-вторых, благодаря предрасположенности последнего улавливать некую общую идею окружающих и, таким образом, содействовать общей цели» [Пирс, 2000, с. 382]. Агапизм создает впечатление примирителя аристотелевской телеологии и христианского понимания любви. Этот вид эволюции с одной стороны принимает порывистость и индетерминизм случайности тьюхизма, но не так слепо, а с другой стороны, принимает «определенные мыслительные тенденции», но не так наивно, как это делает механистический детерминистский подход ананказма. Мощная симпатическая связь между людьми обеспечивает обратную положительную связь между подготовленной коллективом почвой и выращенным им порывом индивидуальности. От ананказма опять-таки подобное движение отличается отсутствием поступательности, общества и порядки могут переживать взлеты и падения, прорывы прогресса и кризисы. Сам по себе гений интеллектуально не способен к формированию идеи без симпатического

окружения людей, общество подталкивает его, что Пирс отмечает распространенным понятием «догадки гения». В целом, тривиальная мысль о невозможности полной автономии гения обладает интересными выходами на современные представления о культурной эволюции.

Это в свою очередь тесно связано с общими вопросами о том, в чем Пирс оказался прав, и имеет смысл сейчас упоминать о его актуальности. Говоря о правоте, можно начать с его имплицитной критики адапционистской механистической модели эволюции. Современная критика адапционизма в эволюционной биологии ставит под сомнение предположение о том, что все черты являются исключительно продуктами естественного отбора, игнорируя другие эволюционные механизмы, такие как генетический дрейф и ограничения развития. Исследователи утверждают, что не все черты обязательно являются адаптивными и могут возникнуть в результате исторических случайностей или неадаптивных процессов. Исследования Гулда и Левонтина [Gould, Lewontin, 1979], работы Пильюччи и Каплана [Pigliucci, Kaplan, 2010], а также Кузина И.А., подчеркивают необходимость более детального понимания эволюции признаков, выходящего за рамки строгих адапционистских взглядов [Кузин, 2015].

Другим важным пунктом, ставшим трендом в соответствующих областях, является критика наклеивания описаний человека как рационального эгоиста, с основным интересом в максимизации индивидуальной выгоды в тех экономических представлениях, что называются сейчас «классическими». Особенно примечательным примером подобной рефлексии является статья Дж. Хенрика и коллег на тему распространенности в человеческой популяции того самого рационального эгоиста, которого называют «homo economicus» [Henrich, 2001], и исчерпывающим исследованием С. Боулза и Г. Гинтиса [Bowles, Gintis, 2011]. Можно заключить, что теория игр, поведенческая экономика, исследования институтов демонстрируют, что абсурд обобщения (нео) классических экономических систем заключается в том, что на планете буквально нет обществ, действующих по предсказаниям подобной модели, в то же время нерасчетливый альтруизм, стремление делиться и помогать незнакомцу превалируют в экономических играх, встречаясь доминирующими решениями во всех исследованных человеческих популяциях. В то же время ни в одном обществе некооперативные решения соответственно не являются доминирующими.

В плане важности роли направленной адаптации и творческого усилия, стремления к человеку, агапизма, концепт неплохо ложится в современные модели культурной эволюции. Направленность изменений специфична, она не находится в полной мере в границах случайности ровно, как и в границах направленности. Отдельные (даже многие) технические навыки у древних людей и традиционных сообществ оказываются крайне эффективными. Даже если открытие проходит случайно – отбор навыка обеспечивается возможностью ему обучиться и обучать других. Невероят-

ный талант в этом смысле оказывается вторичен коммуникативным навыкам, вроде педагогического. Несмотря на критику концепта ограниченной рациональности, с допущениями можно сказать, что «упражнения» и «тренировки» нерабочие для наследственности в эволюции генетической, обнаруживают полезность в наследственности негенетической. Ричардсон и Бойд определяют человека как примата с преимущественно негенетической трансляцией информации [Richerson, Boyd, 2008]. И если культура – не-генетически передаваемая информация, это также в целом соответствует интуиции Пирса. Вдобавок, культурная эволюция соединяет в себе как факторы случайности, так и определенного рода закономерности (вроде общего понятия справедливости, возникающего во всех языках и культурах, несмотря на различия в частностях, также во многом схожей от общества к обществу). И тем более, высокий уровень кооперативности и координации, демонстрируемый человеком, иносказательно суть то же творческое стремление к человеку.

Говоря же о слабостях подобного видения эволюции Пирсом прежде всего стоит отметить целеполагание у эволюции. Даже культурной. Конечно, целеполагание – необходимое условие для одной из главных целей Пирса: совместить понимание эволюции с христианством. Однако, если мы обратимся к современным представлениям, в рамках описания религии в культурной эволюции у нее место одного из институтов, а не «предустановленной гармонии» к которой стремится природа и человек [Norenzayan, 2008]. И конечно, специфически в рамках этого подхода христианство не выделяется. Сам Пирс отмечает, что испытывает трудности с разграничением подходов, однако, на мой взгляд, по прочтению они достаточно ясны и хорошо проиллюстрированы. Другой значимый вопрос: воспринимать ли эти отличия буквально как «виды» эволюции, или как «подходы» к ее пониманию. Первая идея в современных подходах даже расширенного эволюционного синтеза не так актуальна, как вторая. Даже в исследованиях современных авторов взгляды Пирса оказываются полезным ориентиром и профилактикой перед детерминистской оптикой [Henning, 2015]. В то же время осторожность и метафоричность стиля Пирса амбивалентны: с одной стороны, отсутствие строгости расширяет горизонт интерпретации, а с этим и актуальность в долгосрочной перспективе. С другой, смелость и конкретика не помешали Кропоткину в сохранении актуальности и по сей день, оставляя его цитируемым в трудах крупнейших исследователей этологии и культурной эволюции. Пирс же скорее заявлял об опасности полного эволюционного описания морального чувства и делал акценты в том числе на дискурсивной критике современных ему описательных моделей. И в главном он оказался прав: обобщение человека как существа бессердечного и корыстного угрожает социальным порядкам и падению нравов – но и в целом оно спорно с эволюционной точки зрения.

### Список литературы

- Кропоткин П.А. Этика: Избранные труды. – Москва: Политиздат, 1991. – 499 с.
- Кузин И.А. Социобиология и критика адапционизма // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. – № 11. – С. 72–77.
- Пирс Ч.С. Эволюционная любовь // Пирс Ч.С. Избранные философские произведения. – Москва: Логос, 2000. – С. 376–407.
- Спенсер Г. Этика общественной жизни. Т. V. – Москва: Чел. Социум, 2015. – 488 с.
- Bowles S., Gintis A. A cooperative species: Human reciprocity and its evolution. – Princ / Univ. prtss, 2011. – 280 p.
- Gould S.J., Lewontin R.C. The spandrels of san marco and the panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme // Conceptual Issues in Evolutionary Biology. – 1979. – Vol. 205. – P. 581–598.
- Eddy B.L. Evolutionary pragmatism and ethics. – Lexington Books, 2015. – 156 p.
- Liszka J.J. Charles peirce on ethics, esthetics and the normative sciences. – Routledge, 2021. – 248 p.
- Henning B.G. Creative Love: Eros and Agape in Whitehead and Pierce // Thinking with Whitehead and the American Pragmatists Experience and Reality. – 2015. – P. 149–164.
- Henrich J. et al. In search of Homo Economicus: Behavioral Experiments in 15 Small-Scale Societies // American Economic Review. – 2001. – Vol. 91. No. 2. – P. 73–78. doi.org/10.1257/aer.91.2.73
- Huxley T.H., Ruse M. Evolution and ethics. – Princeton University Press, 2024. – URL: <https://doi.org/10.1515/9780691268293>
- Norenzayan A., Shariff A.F. The origin and evolution of religious prosociality // Science. – 2008. – T. 322, № 5898. – P. 58–62.
- Pigliucci M., Kaplan J. Making sense of evolution: The conceptual foundations of evolutionary biology. – Chicago: University of Chicago Press, 2010. – 236 p.
- Richerson P.J., Boyd R. Not by genes alone: How culture transformed human evolution. – Chicago: University of Chicago press, 2008. – 342 p.
- Ruse M., Richards R.J. (ed.). The Cambridge handbook of evolutionary ethics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – 342 p.

**Chasovskikh G.A.<sup>1</sup>**

**Charles Peirce's essay «Evolutionary Love»  
in the context of his views on human evolution**

*Abstract.* In the essay «Evolutionary Love» C. Pierce touches upon the topic of ethical relations and the perspective of looking at them through the prism of his specific understanding of evolutionism. It also provides a reconstruction of the philosopher's arguments, shifting the emphasis from metaphysical constructions to ideological criticism and understanding of the nature of evolutionism with human relations. Thus, the descriptions of the types of evolution contain criticism of rational egoism, as well as the primitivization of the mechanistic view of evolution. In this work, one can also discover the critical potential of C. Pierce's ideas in relation to adaptationism and the relevance of his ideas in the context of some ideas of modern evolutionism, morality and cultural evolution.

---

<sup>1</sup> **Chasovskikh Grigory Alexandrovich**, master of philosophy, postgraduate student of the National Research University Higher School of Economics, lecturer of the department of bioethics and International Medical Law of UNESCO, Pirogov Russian National Research Medical University; 19 sub@mail.ru



**Keywords:** C. Pierce; evolutionary love; evolution of morality; evolutionary theory; adaptation; mechanism; progress; cultural evolution; human nature; agapasm.

**For citation:** Chasovskikh G.A. Charles Peirce's essay «Evolutionary Love» in the context of his views on human evolution. *METHOD: METHOD: Moscow quarterly journal of social studies / RAN, INION.* – Moscow, 2023. – Part 13. Vol. 3. No. 4. P. 210–217. DOI: 10.31249/metod/2023.04.11

## References

- Bowles S. (2011). *A cooperative species: Human reciprocity and its evolution*.
- Eddy B.L. (2015). *Evolutionary pragmatism and ethics*. Lexington Books,.
- Gould S.J., Lewontin R.C. (1979). *The spandrels of san marco and the panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme* *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. V. 205.
- Henning B.G. (2015). Creative Love: Eros and Agape in Whitehead and Peirce. <https://repository.gonzaga.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=philosophyschol>
- Huxley T.H. (2024). Ruse M. Evolution and ethics. Princeton University Press, 2024. – <https://doi.org/10.1515/9780691268293>
- Kropotkin P.A. (1991). *Ethics: Selected Works*. M. (In Russ.)
- Kuzin I.A. (2015). Sociobiology and Critique of Adaptationism. *Neurocomputers: development, application*. No. 11 (72–77). (In Russ.)
- Liszka J.J. (2021). *Charles Peirce on ethics, esthetics and the normative sciences*. Routledge,.
- Norenzayan A., Shariff A.F. (2008) The origin and evolution of religious prosociality. *Science*. Vol. 322. N 5898. (58–62).
- Peirce C.S. (2000). Evolutionary Love. *Selected Philosophical Works*. M.: Logos. – Pp. 376 – 407. (In Russ.)
- Pigliucci M., Kaplan J. (2010). Making sense of evolution: The conceptual foundations of evolutionary biology. – University of Chicago Press.
- Richerson P.J., Boyd R. (2008). Not by genes alone: How culture transformed human evolution. – University of Chicago press.
- Ruse M., Richards R.J. (ed.). (2017). *The Cambridge handbook of evolutionary ethics*. – Cambridge University Press.
- Spencer G. (2015). Ethics of Public Life / V. 5, M: Chel.Socium. 496 p. (In Russ.)

**МЕТОД**  
**МОСКОВСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНИК ТРУДОВ**  
**ИЗ ОБЩЕСТВОВЕДЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

Выпуск 13  
(продолжение серии ежеквартальников МЕТОДа)  
Том 3 № 4

Дизайнер (художник) С.И. Евстигнеев  
Корректор А.А. Чукаева  
Компьютерная верстка К.Л. Синякова

Подписано в свет 24 / XII – 2024 г.

Формат 70×100/16

Усл. печ. л. 17,7      Уч.-изд. л. 14,3

Тираж 500 экз.

**Институт научной информации**  
**по общественным наукам**  
**Российской академии наук**  
Нахимовский проспект, д. 51/21, Москва, 117418  
<http://inion.ru>

Отдел печати и распространения  
информационных изданий  
Тел.: +7 (925) 517-36-91  
e-mail: [izdat@inion.ru](mailto:izdat@inion.ru)