

О ТЕОРИИ УВЕЛИЧЕНИЯ СЛОЖНОСТИ ПРОФЕССОРА А.П. КОЗЛОВА, ОПУБЛИКОВАННОЙ В СЕРИИ РАБОТ В 2024 Г.

© 2025 г. В. С. Заборовский

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

e-mail: vlad2tu@yandex

Поступила в редакцию 02.02.2025 г.

Серия работ профессора А.П. Козлова, опубликованных в журналах “Успехи современной биологии” и “Палеонтологический журнал” в 2024 г., посвящена фундаментальным вопросам эволюционного развития живых организмов, анализ которых основан на роли наследственных опухолей как естественных механизмов формирования эволюционно новых тканей и органов. Изучение этого механизма лежит в основе теории *carcino-evo-devo*, которая, по мнению автора, объясняет процесс увеличения биологической сложности живых организмов. В обзоре проанализированы выводы из новых глав теории А.П. Козлова, касающиеся возрастающей сложности живых организмов, с точки зрения информатики и информационных технологий.

Ключевые слова: эволюционная теория, наследственные опухоли, *carcino-evo-devo*

DOI: 10.31857/S0042132425020097, EDN: GEFAAL

Серия работ профессора А.П. Козлова, опубликованных в журналах “Успехи современной биологии” (Козлов, 2024а–г) и “Палеонтологический журнал” (Kozlov, 2024), посвящена фундаментальным вопросам эволюционного развития живых организмов, анализ которых основан на роли наследуемых опухолей как природном механизме формирования эволюционно новых тканей и органов. Исследование этого механизма положено в основу теории *carcino-evo-devo*, которая, по мнению автора, объясняет процесс увеличения биологической сложности живых организмов. В своем отзыве я хотел бы проанализировать выводы из новых глав теории А.П. Козлова (Козлов, 2024г; Kozlov, 2024), касающиеся увеличения сложности живых организмов, с позиций компьютерных наук и информационных технологий, которые являются областью моих профессиональных компетенций.

Исторически эволюцию принято рассматривать как случайный процесс, в котором контекстные обстоятельства и среда существования играют определяющую роль. Другими словами, контекстно-свободной грамматики процесса эволюции не существует. Это значит, что, начав процесс эволюции заново, возможно получить организмы совершенно других форм и функций. При этом очевидно, что фундаментальные биофизические ограничения радикально сужают возможные пути эволюционного развития организмов. Ограничения, накладываемые модаль-

ной логикой генетических законов, формируют пространство эволюционных (потенциально существующих, но не реализованных) возможностей, в котором и протекает весь процесс эволюции живых организмов. А ограничения, накладываемые на процессы эволюции, очевидно, обусловлены термодинамическими свойствами живых систем, а также особенностью генетической информации, управляющей всеми процессами, происходящими в многоклеточных организмах.

Ключевой аспект предлагаемой теории состоит в том, что опухоли есть биологический механизм, реализующий особый класс процессов биологических вычислений, которые с неизбежностью приводят к увеличению биологической сложности живых организмов. С позиций компьютерных наук живой организм, как и любой электронный вычислитель, – это, по сути, термодинамическая машина, которая получает свободную энергию из окружающей среды и использует ее для вычисления самого себя. Глобальный характер термодинамических ограничений, очевидно, есть универсальная черта всех живых систем. Процесс их выживания – антиэнтропийный процесс, основанный на эффективной обработке информации в пределах существующего пространства биологических возможностей организма.

Любые антиэнтропийные процессы требуют использования либо внутренней, либо внешней

свободной энергии, но все они с неизбежностью приводят к увеличению энтропии окружающей среды. В терминах информационных процессов термодинамическая логика жизни есть преобразование свободной энергии – низкоэнтропийного ресурса – в высокоэнтропийный тепловой выход. Возникает вопрос: а можно ли рассматривать процессы эволюции как локальные антиэнтропийные процессы, позволяющие не только сохранять и воспроизводить биологические организмы, но и способствовать увеличению биологической сложности живых организмов?

Общая теория увеличения биологической сложности, предложенная А.П. Козловым, пытается дать ответ на этот вопрос. Теория включает три раздела. Рассмотрим эти разделы и подробно проанализируем сформулированные в них выводы.

Первый раздел рассматривает роль опухолей как неких рандомизированных поисковиков, действующих в пространстве биологических возможностей, и участие опухолей в биологических компьютерных процессах.

Представления о компьютерных процессах, протекающих в природе, в последнее время получили самое широкое распространение. Многие ученые рассматривают Вселенную как гигантский суперкомпьютер, программы в котором являются законы природы. Выдающийся физик Джон Уиллер сформулировал известное утверждение “It from bit”. Поэтому не вызывает удивления обращение А.П. Козлова к этой теме.

Впервые представление об опухолях как поисковиках было сформулировано А.П. Козловым в его монографии 2014 г. (Kozlov, 2014) на основе биологических данных. Но поскольку представление о поисковиках является частью компьютерных наук, это привело к рассмотрению биокомпьютерных процессов, происходящих в природе (Козлов, 2024г; Kozlov, 2022a, 2024). При этом автор четко разделяет биокомпьютерные процессы, происходящие в живых системах, используя термины *biological computation* и *DNA computation*, и компьютерные операции с участием человека (*DNA computing* и *biocomputing*). А.П. Козлов вводит понятие биологического пространства возможностей, используя представление о пространстве возможностей, разработанное Карлом Поппером. В биологическом пространстве возможностей оперируют автономные поисковики (наследуемые опухоли), которые осуществляют поиск нереализованных сущностей, совместимых с предсуществующими биологическими структурами. Таков, по мнению А.П. Козлова, механизм перебора (*computation*) возможных новых совместимых сочетаний генов и признаков, который приводит к возрастанию структурной сложности

в прогрессивной эволюции организмов. Таким образом, А.П. Козлов приходит к выводу об участии биологических компьютерных процессов в увеличении биологической сложности. Следует отметить, что с точки зрения науки об информационных и компьютерных процессах, в которой автор отзыва является специалистом, использование представлений о биокомпьютерном поиске совместимых сущностей в пространстве биологических возможностей весьма перспективно. Аналогичный подход, по нашему мнению, приложим в том числе и для небиологических наук.

Следующий раздел теории посвящен собственно принципу увеличения биологической сложности.

Статьи (Козлов, 2024г; Kozlov, 2024) посвящены принципу увеличения сложности как фундаментальному закону природы. В этих статьях автор рассмотрел увеличение сложности на различных уровнях организации, начиная с атомарного. По-видимому, впервые в мировой литературе принцип увеличения сложности рассматривается как принцип сквозного действия от атомов до многоклеточных организмов. Из этого, в частности, делается вывод, что естественный отбор, возникающий с появлением организмов, является менее фундаментальной закономерностью, по сравнению с принципом увеличения сложности. Вводится представление о структурно-функциональном уровне организации и о структурно-функциональных взаимодействиях, характерных для организмов, существенной чертой которых является регуляция. Регуляция возникает одновременно с возникновением организмов и их функций. Функции и их регуляция с помощью обратных связей стабилизируют организмы. В природе стабилизация с помощью обратных связей впервые возникает у организмов.

А.П. Козлов полагает, что увеличение сложности является неотъемлемым свойством материи. Увеличение структурно-функциональной сложности в процессе прогрессивной эволюции организмов является свойством, внутренне присущим живой материи.

Принцип увеличения структурно-функциональной сложности формулируется с использованием терминологии биологических компьютерных процессов и представлений о многоуровневой эволюции организмов в пространстве биологических возможностей: “In living nature, there is a tendency to realize the maximum number of compatible entities from the space of biological possibilities, which is carried out by means of biological computation and results in structural-functional complexity growth during progressive evolution of organisms. Structural-functional complexity growth

is a multilevel process, which consists of frozen coincidences of the structural complexity growth events at different levels of organization in the organism as a whole” (Kozlov, 2024).

Далее А.П. Козлов отмечает, что параллельно с увеличением структурно-функциональной сложности происходит эволюция генома эволюционирующих организмов, которая связана с увеличением объема генетической информации. Еще в одной из ранних публикаций А.П. Козлов сформулировал принцип эволюции геномов: “Progressive evolution is connected with an increase of the number of qualitatively different genes in the genomes of evolving organisms” (Kozlov, 1979, p. 2). А.П. Козлов рассматривает происхождение эволюционно новых генов как первоначальное ДНК-вычисление (DNA computation) нереализованных возможностей (Kozlov, 2022a).

Таким образом, генетическая информация прогрессивно эволюционирующих организмов имеет тенденцию увеличиваться до некоторого максимума для обеспечения повышения структурно-функциональной сложности организмов, что ставит вопрос об аналогичных соответствиях информации, энергии и структурной сложности на других уровнях структурной организации. Это направление науки в настоящее время активно развивается, что свидетельствует об актуальности вопросов, решаемых автором в его теории увеличения биологической сложности.

Последний раздел теории увеличения сложности связан с диаграммами *carcino-evo-devo*, с использованием которых А.П. Козлов выводит формулу увеличения биологической сложности.

Впервые А.П. Козлов предложил диаграммы для описания основных положений теории *carcino-evo-devo* в работе (Kozlov, 2019). В статье (Kozlov, 2022b) были предложены новые диаграммы, в том числе диаграмма, описывающая эволюционно новые органы с опухолевыми признаками (опухолеподобные органы). А.П. Козлов обратил внимание, что диаграмма *carcino-evo-devo* похожа на диаграмму центральной догмы молекулярной биологии, впервые предложенную Ф. Криком (Crick, 1970). В частности, обе диаграммы содержат некий запрет. Используя диаграмму *carcino-evo-devo*, модифицированную диаграмму центральной догмы и две другие диаграммы, автор в работах (Kozlov, 2024г; Kozlov, 2023, 2024) предложил формулу, описывающую ступенчатое многоуровневое увеличение сложности многоклеточных организмов (рис. 1).

Обращает на себя внимание тот факт, что подход, используемый А.П. Козловым, напоминает использование диаграмм в математической теории категорий. Как нам известно, в настоящее время А.П. Козлов ведет работу с представителями этой математической дисциплины с целью приведения формулы увеличения сложности к виду, принятому в теории категорий. Таким образом, в новых работах автора предпринята попытка формализации теории увеличения сложности с привлечением аппарата теории категорий.

Сходство биологических и физических теорий усиливается, если принять во внимание тот факт, что на начальных этапах развития теории *carcino-evo-devo* основная гипотеза была выведена из более общих положений. Все эти об-

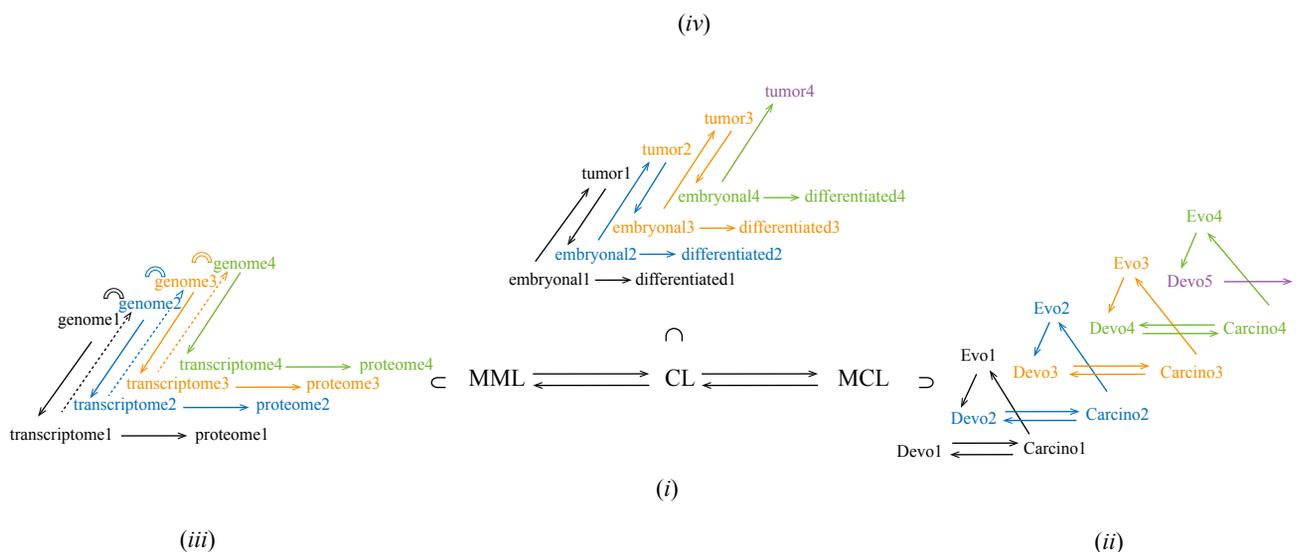


Рис. 1. Формула увеличения сложности многоклеточных организмов.

стоятельства указывают на фундаментальный характер рассматриваемой теории увеличения биологической сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Козлов А.П.* Теория эволюционной роли наследуемых опухолей (*carcino-evo-devo*): история развития и современное состояние. Часть 1. От общих принципов к гипотезе и от гипотезы к концепции // *Успехи соврем. биол.* 2024а. Т. 144 (3). С. 249–264. <https://doi.org/10.31857/S0042132424030013>
- Козлов А.П.* Теория эволюционной роли наследуемых опухолей (*carcino-evo-devo*): история развития и современное состояние. Часть 2. Становление теории в книге “Evolution by Tumor Neofunctionalization” // *Успехи соврем. биол.* 2024б. Т. 144 (4). С. 364–373. <https://doi.org/10.31857/S0042132424040011>
- Козлов А.П.* Теория эволюционной роли наследуемых опухолей (*carcino-evo-devo*): история развития и современное состояние. Часть 3. Современное состояние теории *carcino-evo-devo* и ее взаимоотношения с другими биологическими науками // *Успехи соврем. биол.* 2024в. Т. 144 (4). С. 374–401. <https://doi.org/10.31857/S0042132424040024>
- Козлов А.П.* Теория эволюционной роли наследуемых опухолей (*carcino-evo-devo*): история развития и современное состояние. Часть 4. Общая теория увеличения биологической сложности в прогрессивной эволюции // *Успехи соврем. биол.* 2024г. Т. 144 (5). С. 478–487. <https://doi.org/10.31857/S0042132424050011>
- Crick F.* Central dogma of molecular biology // *Nature*. 1970. V. 226. P. 561–563. <https://doi.org/10.1038/227561a0>, PMID: 4913914
- Kozlov A.P.* Evolution of living organisms as a multilevel process // *J. Theor. Biol.* 1979. V. 81 (1). P. 1–17.
- Kozlov A.P.* The role of heritable tumors in evolution of development: a new theory of *carcino-evo-devo* // *Acta Naturae*. 2019. V. 11 (4). P. 65–72. <https://doi.org/10.32607/20758251-2019-11-4-65-72>
- Kozlov A.P.* Biological computation and compatibility search in the possibility space as the mechanism of complexity increase during progressive evolution // *Evol. Bioinform.* 2022a. V. 18. P. 1–5. <https://doi.org/10.1177/11769343221110654>
- Kozlov A.P.* Mammalian tumor-like organs. 1. The role of tumor-like normal organs and atypical tumor organs in the evolution of development (*carcino-evo-devo*) // *Infect. Agents Cancer*. 2022b. V. 17. 2. <https://doi.org/10.1186/s13027-021-00412-0>
- Kozlov A.P.* Diagrams describing the evolution of gene expression, the emergence of novel cell types during evolution, and *evo-devo* // *Gene Expr.* 2023. V. 22 (3). P. 262–269. <https://doi.org/10.14218/GE.2023.00031>
- Kozlov A.P.* Structural complexity growth as a fundamental law of nature. Multilevel increase in complexity, frozen accidents, and transitory forms in macroevolution // *Paleontol. J.* 2024. V. 58 (12). P. 1438–1448. <https://doi.org/10.1134/S0031030124601312>

On the Theory of Increasing Complexity by Professor A.P. Kozlov, Published in a Series of Papers in 2024

V. S. Zaborovsky

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

e-mail: vlad2tu@yandex

A series of works by Professor A.P. Kozlov, published in the journals “Advances in Current Biology” and “Paleontological Journal” in 2024, is devoted to fundamental issues of the evolutionary development of living organisms, the analysis of which is based on the role of inherited tumors as a natural mechanism for the formation of evolutionarily new tissues and organs. The study of this mechanism is the basis for the theory of *carcino-evo-devo*, which, according to the author, explains the process of increasing the biological complexity of living organisms. In this review the conclusions from the new chapters of A.P. Kozlov’s theory concerning the increasing complexity of living organisms from the standpoint of computer science and information technology are analyzed.

Keywords: evolutionary theory, hereditary tumors, *carcino-evo-devo*