

УДК 574

Проблема математической формализации биологии, алгоритмическая теория эволюции и завершение программы Пифагора-Платона

А. С. Бурундуков^{1,2}, А. Л. Дроздов^{2,3*}

¹*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690059, Российская Федерация*

²*Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, 690050, Российская Федерация
email: aleksandr.burundukov2012@mail.ru*

³*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН
Владивосток, 690041, Российская Федерация
email: anatoliyld@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена разработке принципов алгоритмической теории эволюции (АТЭ). В начале работы констатируется необратимость процессов унификации, интеграции и обобщения биологических теорий от появления синтетической теории эволюции, через формулировку эволюции развития (EvoDevo) до возникновения концепций расширенного эволюционного синтеза и экологической эволюционной биологии (EES/EcoEvoDevo) и отмечается необходимость создания конструктивного варианта теории семантической информации.

В первом разделе «Исход из канторова рая» рассматривается драматический раскол математиков на секты логицистов, интуитивистов, формалистов и конструктивистов, возникновение теории алгоритмов и теории категорий и функторов, демонстрируется неизбежное усложнение математического аппарата с глубиной обобщения и универсализацией физических теорий и делается вывод о том, что для создания математической биологии необходимо расширить базис математических концепций, включив в него теории категорий и функторов, топосов, алгоритмов, исследования в области искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей. В конце раздела обсуждается процесс математизации биологии и обратное влияние биологии на математику при разработке стохастических алгоритмов оптимизации с использованием метафорических метаэвристик явно биологического происхождения. Второй раздел посвящён краткому изложению основ репликаторно-этологической теории семантической информации (РЭТСИ), а третий – формулировке принципов АТЭ. В терминах конструктивной математики даны определения конструктивного объекта и алгоритма и, для включения теории алгоритмов в математический базис теоретической биологии, предлагается переинтерпретировать теорию алгоритмов, построенную для вычислительных алгоритмов в теорию регуляторных алгоритмов, частным случаем которых являются управляющие алгоритмы. Для этого необходимо 1) отказаться от точности и однозначности алгоритма; 2) допустить наряду с существованием вычислительных алгоритмов регуляторных; 3) признать очевидный факт существования

* Сведения об авторах: Бурундуков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, проф., Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского, e-mail: aleksandr.burundukov2012@mail.ru. Дроздов Анатолий Леонидович, д-р биол. наук, гнс, Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, проф., Дальневосточный федеральный университет, e-mail: anatoliyld@mail.ru; Бурундуков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, проф., Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского, e-mail: aleksandr.burundukov2012@mail.ru.

конструктивных объектов материального мира. Этот процесс можно начать с замены однозначных функций и отображений соответствиями, соответствия как множества бинарных отношений преобразовать в нечёткие множества, а вычислительные процессы дополнить реальными, эмпирическими процессами. В итоге математика последует за физикой и сольётся с естествознанием. Тезис Тьюринга-Поста, применённый к биологическому репликатору, сведётся к очевидному утверждению, что каждому потенциально жизнеспособному полному набору регуляторных алгоритмов соответствует эквивалентный ему организм, тезис Чёрча, согласно которому класс вычислимых с помощью алгоритмов функций совпадает с классом частично-рекурсивных функций преобразуется в тривиальное утверждение о квазизамкнутости метаболических процессов организма, а теоремы о неполноте формальных систем К. Гёделя превратятся в констатацию фактов 1) принципиального несовершенства любой функциональной системы, т. е. невозможности существования идеального организма; 2) неотвратимости возникновения иерархически все более высоких регуляторных алгоритмов, и 3) неизбежности дивергенции видов в процессе биологической эволюции. Из того, что алгоритм сам является конструктивным объектом, следует, что мы можем рассматривать алгоритмы от алгоритмов, то есть естественным образом описать возникновение иерархических уровней обработки информации. Основной тезис АТЭ состоит в утверждении, что связь между репликатором и функциональной системой может быть установлена в рамках алгоритмической теорией информации А.Н. Колмогорова, РЭТСИ отвечает за отношения организма с окружающей средой, а АТЭ должна синтезировать оба подхода. Но, если главным объектом эволюции многоклеточных являются онтогенезы, а онтогенез представляет собой реализацию химических алгоритмов самоорганизации, то вся биологическая эволюция сведётся к эволюции алгоритмов онтогенеза. Усилить этот тезис можно утверждением, что в доинформационный период существования Вселенной, когда репликаторы ещё не появились, эволюция мироздания определялась алгоритмами в форме законов сохранения, имманентными комплексу пространство-время-материя и овеществлёнными в его симметриях. Тогда вся эволюция Вселенной, неорганического, биологического и социального мира окажется эволюцией алгоритмов, что оправдывает термин АТЭ и позволяет заново переосмыслить тезис Дж. Уилера «It from bit» («Все из бита»). В последнем, четвёртом разделе статьи говорится о завершении эпистемической программы Пифагора-Платона по измерению и изучению Вселенной, конечной целью которой было постижение замыслов Демиурга, и обосновании естественнонаучного тезиса: «никаких телеологических замыслов не было, нет, и не могло быть».

Ключевые слова: Алгоритмическая теория эволюции, алгоритмическая теория информации Колмогорова, репликаторно-этологическая теория семантической информации, тезис Тьюринга-Поста, теорема Гёделя о неполноте формальных систем.

Зародившиеся в физике процессы унификации научного знания приобрели актуальное значение для биологии с 1918–32 гг., когда Р. Фишером, Дж. Холдейном и С. Райтом был осуществлён синтез теории эволюции Ч. Дарвина и генетики Г. Менделя в синтетической теории эволюции (СТЭ). Второй синтез воплотился в эволюционной биологии развития (EvoDevo), возникшей в 70–80 гг. после включения в СТЭ данных молекулярной генетики и результатов исследований процессов онтогенеза, полученных Э. Б. Льюисом, В. Макгиннисом, К. Ньюсляйн-Фольхард, Э. Вишаусом и др. Третий синтез, объединяющий концепции EvoDevo и экологии, оформился в рамках предложенного М. Пилуччи и Г. Мюллером расширенного эволюционного синтеза (EES) [1] и экологической эволюционной

биологии развития С. Гильберта [2]. Предметом исследований EES/EcoEvoDevo стала фенотипическая пластичность, эпигенез, симбиогенез и взаимосвязь организмов с экологической нишей. Четвёртый, финальный синтез EES/EcoEvoDevo с кибернетикой и информатикой, когнитивистикой, искусственными нейросетями (ИНС) и искусственным интеллектом (ИИ), системологией и системной динамикой, т. е. объединение естественнонаучных, технических и гуманитарных наук в контексте концепции глобального эволюционизма (ГЭ) невозможно без построения конструктивного варианта теории информации. Это стало поводом для разработки репликаторно-этологической теории семантической информации (РЭТСИ) [3–5] и поиска адекватного современной биологии математического аппарата.

1. Исход из канторова рая: математизация биологии и/или «биологизация» математики?

Aus dem Paradies, das Cantor uns geschaffen, soll
uns niemand vertreiben können¹.

D. Hilbert

Впечатляющие успехи математизации физики, а также проблема континуума во второй половине XIX в. стимулировали исследования в области оснований математики. Однако в разработанной Г. Кантором при участии Р. Дедекинда наивной теории множеств уже с 1895 г. стали обнаруживаться разрушающие теорию парадоксы (Ч. Бурали-Форти, Г. Кантора, Б. Рассела, Дж. Берри, Ж. Ришара, Греллинга-Нельсона), поэтому усилия многих математиков и логиков были направлены на создание аксиоматических теорий множеств, наиболее известные из которых системы **Z** (Е. Цермело), **ZF** (Цермело-Френкеля), **ZFC** (**ZF** с аксиомой выбора), **T** (теория типов Б. Рассела), **NGB** (Неймана-Геделя-Бернайса), **NF** (New Foundation У. Куайна). Но непримиримые противоречия при выборе основополагающих принципов породили Великий раскол в стане математиков, который разделил их на приверженцев логицизма Фреге-Рассела-Уайтхеда, интуиционизма Л. Э. Я. Брауэра, формализма Д. Гильберта и конструктивного направления, наиболее последовательно развитого А. А. Марковым. Совместными усилиями удалось довольно быстро расправиться с логицизмом, доказав, что введенные в Principia Mathematica аксиомы бесконечности и сводимости не являются логическими, а финальный le coup de pied de l'âne² притязаниям формализма нанёс К. Гёдель, доказав в 1931 теоремы о неполноте формальных систем. Эти доказательства породили серьёзные подозрения в невозможности алгоритмического разрешения некоторых математических

¹ "Никто не изгонит нас из рая, созданного Кантором", из David Hilbert, "Über das Unendliche", Mathematische Annalen, 95 (1), (1926), 161–190, p. 170.

² Удар копытом осла — аллюзия на басню Ж. Лафонтена "Le Lion devenu vieux".

проблем и стали поводом разработки теории алгоритмов, заложенной в 30-х годах работами А. Тьюринга, А. Чёрча, и Э. Поста. Предложенные ими машины Тьюринга и Поста, λ -исчисление Чёрча, как и введенный позднее нормальный алгоритм Маркова оказались эквивалентными друг другу. Дальнейшее развитие теории алгоритмов получила в работах С. Клини, который ввел понятие рекурсивной функции, А. Н. Колмогорова, уточнившего понятие алгоритма и разработавшего алгоритмическую теорию информации и др. В первое десятилетие существования теории алгоритмов неразрешимые массовые проблемы были обнаружены лишь в самой теории алгоритмов (например, проблема остановки), да в математической логике, где в 1936 А. Чёрч доказал неразрешимость проблемы решения для множества всех истинных предложений исчисления предикатов. Но в 1947 независимо А. А. Марков и Э. Пост установили алгоритмическую неразрешимость алгебраической проблемы равенства для конечнопорождённых и конечноопределённых полугрупп (проблема Туэ), в 1952 пример группы с неразрешимой проблемой тождества нашёл П. С. Новиков, в 1958 А. А. Марков обнаружил неразрешимость проблемы гомеоморфии в топологии, а в 1970 Ю. В. Матиясевич доказал в теории чисел неразрешимость 10-й проблемы Гильберта о "нахождении универсального метода разрешимости произвольного алгебраического диофантова уравнения".

Канторов рай оказался тесен для математиков и, разрабатывая в 1945 г. алгебраические основы групп гомологий и когомологий, топологических комплексов и сопряжённых пространств, С. Эйленберг и С. Маклейн [6; 7] предложили теорию категорий, которая при дальнейших исследованиях оказалась тесно связанной с понятием функторов — отображений категорий, сохраняющих их структуру. Теория категорий и функторов сыграла унифицирующую и объединяющую роль для многих разделов математики (алгебраической геометрии и топологии, гомологической алгебры, теории представлений и функционального анализа), логики, информатики и теоретической физики; её понятия активно используются в языке функционального программирования Haskell. Обобщив понятие топоса Гротендика и обнаружив, что кванторы существования и всеобщности могут быть введены при помощи сопряжённых функторов, У. Ловер совместно с М. Тирни разработал в 1970 теорию топосов, в рамках которой одновременно удалось практически полностью воспроизвести все результаты, как теории множеств, так и классических и неклассических логик [8]. Фундаментальным концептом новой теории стал элементарный топос — категория, имеющая терминальный объект, расслоённые произведения, экспоненциал a^b любых двух объектов a и b , а также классификатор подобъектов Ω .

Хорошо известно, что создание новой фундаментальной теории требует разработки принципиально нового математического аппарата. Так для создания ньютоновской механики пришлось изобретать дифференциальное и интегральное исчисления (матанализ). Связанной с ньютоновской механикой вариацией

действия лагранжевой механике соответствует дифференциальная геометрия касательного TM , а гамильтоновой механике — геометрия кокасательного расслоения T^*M гладкого многообразия M . Связь между лагранжевой и гамильтоновой формами механики устанавливается преобразованием А. М. Лежандра. Максвелловская электродинамика была сформулирована на языке гамильтоновой некоммутативной алгебры кватернионов, которую Дж. У. Гиббс (1880-е годы) и О. Хевисайд (1903) преобразовали в векторный анализ. Формулировка статистической физики использует язык теории вероятности и математической статистики. Специальной теории относительности соответствует 4-мерная геометрия плоского псевдоевклидова пространства Г. Минковского, а общей — геометрия искривлённых псевдоримановых многообразий и тензорный анализ. Квантовая механика получила адекватный математический аппарат в виде теории операторов в бесконечномерном гильбертовом пространстве волновых функций, а квантовая теория поля — в пространстве Фока $F_v(H)$, определяемого как прямая сумма подпространств тензорных степеней одночастичных гильбертовых пространств. Теория калибровочных полей формулируется на языке бесконечных групп Ли, являющихся одновременно группами и дифференцируемыми многообразиями, а теория супергравитации и суперструн — на языке суперсимметрий, суперпространства и расслоённых супермногообразий. Что объединяет столь различные физические теории и математические формализмы? Ответ прост: предметом изучения всех столь несхожих теорий являются *пассивные* объекты, эволюционирующие и управляемые *внешними* воздействиями (силами), для которых адекватный математический аппарат может быть построен на базе теории множеств, его использование в биологии обречено на фрагментарность моделируемых процессов, неизбежную локальность отдельных успехов [9–14]. Поэтому создание глобальной, универсальной теоретической биологии, как и её математического аппарата на теоретико-множественном основании *невозможно*. Для решения столь фундаментальной проблемы необходимо расширить базис математических концепций, включив в него теории категорий и функторов, топосов, алгоритмов и информации, лишь такой шаг открывает возможность перехода от изучения пассивных, "мёртвых" объектов и комплексов к созданию теорий *активных*, "живых" систем.

Пионером использования теории множеств и топологии при разработке принципов абстрактной биологии и математического моделирования биологических процессов стал Н. Рашевский [15–17]. Этот подход получил развитие в работах Р. Розена по реляционной биологии [18] и представлению биологических систем теорией категорий [19]. В последующие годы была построена теория (M, R) -систем, описывающая взаимосвязи метаболических и генетических процессов в живой клетке [20; 21], теория молекулярных множеств А. Бартоломея [22; 23], теория организмических суперкатегорий И. Баяну [24; 25],

энергетическая теория абстрактных экосистем К. Легизамона [26; 27]. Некоторые проблемы теории (M, R) -систем были исследованы М. Арбибом [28], разработаны варианты использования категорно-функторной парадигмы в приложении к системному [29] и структурно-функциональному подходу [30–34].

Обратное влияние биологии на математику обусловлено успехами нейрофизиологии, разработкой ИНС, ИИ, и все более отчётливым пониманием того, что основания математики следует искать не только и не столько на пути прогрессирующего абстрагирования, громоздя одну абстракцию на другую, сколько на выявлении функциональной роли структур мозга, ответственных за обработку сенсорной информации, перцептивного восприятие окружающего мира, возникновение глубинных грамматических и логических структур поведения и т.д. Возможно, что высокой миссией биологии на сегодняшний день является вывод математики из затянувшегося кризиса и раскола, вызванного "утратой определённости" [35]. Собственно говоря, биологизация математики уже началась: теория категорий и функторов "уравнила в правах" все множества категории **Set** и различные математические теории, также как разные жизнеспособные организмы получили равные права на существование в биосфере, а теория топосов ликвидировала право исключительности для какой либо избранной логики, что в биологии соответствует "естественному праву" организма действовать в соответствии со сложностью его регуляторной системы или нейронной сети; впрочем, в биосфере эти права ограничены естественным отбором, а в социуме — уголовным кодексом. Самым очевидным фактом влияния биологии на математику является растущая популярность стохастических алгоритмов оптимизации с использованием метафорических метаэвристик (metaphor-based metaheuristics), явно биологического происхождения: эволюционные алгоритмы (Harmony search (HS), [36]; genetic algorithms (GAs), социальным аналогом которых является imperialist competitive algorithm (ICA), [37], муравьиные алгоритмы (ACO) — Ant colony optimization, ant system (AS) [38]; ant colony system (ACS) [39]; MAX-MIN ant system (MMAS) [40]; ранговая муравьиная система (ASrank); длительная ортогональная колония муравьёв (COAC); элитарная муравьиная система (EAS) и т.д.; светлячковый алгоритм (glowworm swarm optimization (GSO), [41], смешанный алгоритм прыгающей лягушки (shuffled frog leaping algorithm (SFL) [42], алгоритм кукушки (cuckoo search (CS) [43], алгоритм летучей мыши (Bat algorithm (BA) [44], пчелиные алгоритмы (artificial bee colony optimization (ABC) [45]; bees algorithm (BA) [44]; flower pollination algorithm (FPA) [46; 47]), оптимизационный алгоритм каракатицы (cuttlefish optimization algorithm (CFA) [48], алгоритмы стаи птиц (swarm grammars (SG), particle swarm optimization (PSO), роевой интеллект (swarm intelligence (SI); artificial swarm intelligence (ASI) [49] и т.д.

Перейдём от проблем математизации биологии к проблемам информации и тесно связанной с ними теории алгоритмов и системологии.

2. От РЭТСИ к алгоритмической теории эволюции (АТЭ)

С точки зрения динамики иерархических систем в системологии выделяют два её аспекта — структурный и функциональный. Структурная иерархическая теория (теория сложности) исследует способы соединения элементов системы для нахождения оптимума в неизбежном конфликте между сложностью и устойчивостью, а функциональная (динамическая) теория изучает взаимодействия иерархической системы с окружающей средой (макроподход) и вертикально-горизонтальные функциональные связи (микроподход) [50]. Формализация системы и структуры легко осуществляется в рамках теоретико-множественного или категорно-топосного подходов, формализация функционального аспекта в значительной мере осложняется необходимостью использования термина "информация".

Напомним основные положения РЭТСИ:

- **онтологический статус.** Информация не универсальна, т. к.: а) она не существует в неорганическом мире; б) появляется одновременно с возникновением жизни, являясь её неотъемлемым атрибутом; в) не является сохраняющейся величиной, т. е. не существует закона сохранения информации;
- **сетевая форма существования.** Информация представляет собой феномен, существующий и функционирующий лишь в сетях: генно-регуляторных сетях клетки (интерактом), генно-гормональных системах растений и грибов, нейронных сетях животных (за исключением губок) и коммуникационных сетях животных и человека, породившего высшую форму социального бытия — человеческое общество;
- **фундаментальной основой** биосоциальных информационных процессов является раздражимость живой материи, а эволюция форм обработки информации связана с возникновением новых, иерархически более высоких контуров обработки базовой сенсорной (=перцептивной) информации эволюционно более молодыми структурами функциональных систем. В этом смысле наука есть высшая форма раздражимости живой материи, достигшей стадии социального развития и использующей в своей жизнедеятельности семиотические структуры;
- **полиморфизм.** Информация есть "неслиянное и нераздельное" триединство а) репликатора (как программы для копирования информации из одной базы данных в другую); б) регуляторных процессов в порождённых репликатором функциональных системах; в) процессов взаимодействия функциональных систем с окружающей средой (включая коммуникацию), т. е. $I = \langle IR; I\Phi; IC \rangle$;
- **семантика,** понимаемая как смысл информационных процессов, отождествляется с биосоциальной значимостью раздражителя и проявляется эффекторными системами в форме внешней и внутренней активности;

- **индивидуальность.** Носителем индивидуальной генетической и этологической информации является биологический организм. С появлением второго репликатора и второй сигнальной системы индивидуальное семантическое пространство взламывается, и интересубъективная информация в форме научных знаний становится уникальным неиссякаемым ресурсом человечества в силу отсутствия закона сохранения информации.

В исследованиях по ИИ информация делится на процедурную и декларативную; процедурная информация оществлена в программах, а декларативная — в данных, с которыми эти программы работают. Проведём аналогичную процедуру в биоинформатике, где выделим перцептивную I_P (результат перекодирования стимула в сигнал) информацию и алгоритмическую I_A (преобразующую сигнал в реакцию организма), т. е. информационная триада примет форму

$$I = \langle I_R; I_P; I_A \rangle,$$

где I_A включает как внутреннюю, так и внешнюю информацию. Это смещение фокуса внимания позволяет перебросить мостик от РЭТСИ к АТЭ.

3. Принципы АТЭ

Фундаментальным понятием конструктивной математики является конструктивный объект — математический объект, возникающий в результате развёртывания конструктивных процессов, при описании которых обычно "... предполагается, что отчётливо охарактеризованы объекты, которые в данном рассмотрении фигурируют в качестве нерасчленяемых на части исходных объектов; предполагается, что задан список тех правил образования новых объектов из ранее построенных, которые в данном рассмотрении фигурируют в качестве описаний допустимых шагов конструктивных процессов; предполагается, что процессы построения осуществляются отдельными шагами, причём выбор каждого очередного шага произволен в тех границах, которые определяются списком ранее построенных объектов и совокупностью тех правил образования, которые фактически можно применить к ранее построенным объектам" [51, с. 16]. Примерами конструктивных объектов могут служить слова в фиксированном алфавите, конечные графы, конечные абстрактные топологические комплексы, рациональные числа, алгебраические многочлены, алгоритмы и исчисления, конечные автоматы, конечно определённые группы и т.д.

Другим фундаментальным понятием математики и кибернетики является понятие алгоритма. В самом широком понимании алгоритм — это точное и однозначное предписание, задающее процесс преобразования исходного конструктивного объекта в результирующий конструктивный объект.

Данное определение конструктивных объектов ограничивает их предметную область семиотическими (идеальными) концептами и системами, а

определение алгоритмов — вычислительными процессами. Чтобы использовать эти понятия для описания процессов в материальном мире нам, по заветам А. Эйнштейна (*Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit...*³), необходимо 1) отказаться от точности и однозначности алгоритма; 2) допустить наряду с существованием вычислительных алгоритмов регуляторных; 3) признать очевидный факт существования конструктивных объектов материального мира. Это позволит осуществить "сошествие" алгоритмов из идеального, горнего мира в мир несовершенный, дольний. Этот процесс можно начать с замены однозначных функций и отображений соответствиями, соответствия как множества бинарных отношений преобразовать в нечёткие множества, а вычислительные процессы дополнить реальными, эмпирическими процессами. В итоге математика последует за физикой и сольётся с естествознанием. Алгоритмами и алгоритмическими системами станут ДНК и РНК, протеины, регуляторные и нейронные сети, рефлексy, релейно-контактные схемы, тексты, научные теории, а конструктивными объектами окажутся все организмы и биосфера, культурные артефакты от каменного рублиа и пирамид в Гизе до космических станций и Большого адронного коллайдера. Вся наша жизнь — поведение, судьба — это использование врождённых и приобретённых алгоритмов в непрерывном гераклитовом потоке актуализирующихся ситуаций. А сама жизнь, с точки зрения АТЭ, — самореплицируемая (автокаталитическая) форма существования биохимических алгоритмов, организованных в генно-регуляторную сеть, функционирование которой поддерживается механизмами транскрипции и трансляции.

Тезис Тьюринга-Поста, применённый к биологическому репликатору, сведётся к очевидному утверждению, что каждой жизнеспособной программе (алгоритму) соответствует эквивалентный ей организм. Тезис А. Чёрча, согласно которому класс вычислимых с помощью алгоритмов функций совпадает с классом частично-рекурсивных функций преобразуется в тривиальное утверждение о квазизамкнутости метаболических процессов организма. Основной тезис АТЭ состоит в утверждении, что связь между репликатором и функциональной системой может быть установлена алгоритмической теорией информации А. Н. Колмогорова, центральным понятием которой является энтропия индивидуального объекта, называемая сложностью объекта по Колмогорову. Под сложностью объекта интуитивно подразумевается минимальное количество информации, необходимое для создания и/или

³ "Если теоремы математики прилагаются к отражению реального мира, они не точны; они точны до тех пор, пока не ссылаются на действительность...", из А. Einstein, *Geometrie und Erfahrung. Erweiterte Fassung des Festvortrages gehalten an der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27 Januar 1921.* Julius Springer Berlin 1921, P. 3.

восстановления данного объекта [52]. Таким образом, подчёркиваем, колмогоровская теория информации отвечает за связь между репликатором и организмом, РЭТСИ — за отношения организма с окружающей средой, а АТЭ должна синтезировать оба подхода.

Отметим, что соответствие между репликатором и функциональной системой не является ни точным, ни однозначным — для химического репликатора это выражается неоднозначностью соответствий генотипа и фенотипа из-за неполной пенетрантности многих мутаций, генома и протеома — как результат альтернативного сплайсинга и т. д. Другой важной особенностью биоинформатики является её антителеологичность — отсутствие "генеральных планов" онтогенеза и конечных целей эволюции, что объясняется стохастичностью и локальностью алгоритмов. Стохастичность и локальность алгоритмов коллективного поведения проявляются в стигмергии⁴ — спонтанном непрямом взаимодействии между организмами децентрализованной системы (например, при строительстве муравейника или термитника, прокладывании и оптимизации муравьиных троп и т. д.), роевом интеллекте боидов (bird-oid objects) и пр. Постепенный отход от спонтанности и стохастичности к планированию действий появляется вместе с сознанием. Согласно теореме К. Гёделя о неполноте формальных систем, в каждой непротиворечивой формальной системе найдётся формально неразрешимое предложение. В биологической интерпретации это соответствует утверждениям: 1) о принципиальном несовершенстве любой функциональной системы, т. е. невозможности существования идеального организма; 2) о неотвратимости возникновения иерархически все более высоких регуляторных алгоритмов; 3) и о неизбежности дивергенции видов в процессе биологической эволюции. Из того, что алгоритм сам является конструктивным объектом, следует, что мы можем рассматривать алгоритмы от алгоритмов, то есть естественным образом описать возникновение иерархических уровней обработки информации. Но, если главным объектом эволюции многоклеточных являются онтогенезы, а онтогенез представляет собой реализацию химических алгоритмов самоорганизации [53], то вся биологическая эволюция сведётся к эволюции алгоритмов. Усилить этот тезис можно утверждением, что в доинформационный период существования Вселенной, когда репликаторы ещё не появились, эволюция мироздания определялась алгоритмами в форме законов сохранения, имманентными комплексу пространство-время-материя и овеществлёнными в его симметриях. Тогда вся эволюция Вселенной, неорганического, биологического и социального мира окажется эволюцией алгоритмов, что и оправдывает термин АТЭ и позволяет заново переосмыслить тезис Дж. Уилера:

⁴ От στίγμα — знак, метка, и έργον — действие, работа. Термин «стигмергия» ввёл П. П. Грассе в 1959 г. при объяснении поведения колонии термитов.

"It from bit"⁵. Считать информацией алгоритмы эволюции неорганического мира мы не можем, так как через 10^{-10} с после Большого Взрыва они неизменны и универсальны, что делает бессмысленным копирование и невозможным ни их редактирование, ни удаление материальными системами. На приведённом ниже рисунке изображена схема последовательности унификаций научного знания.

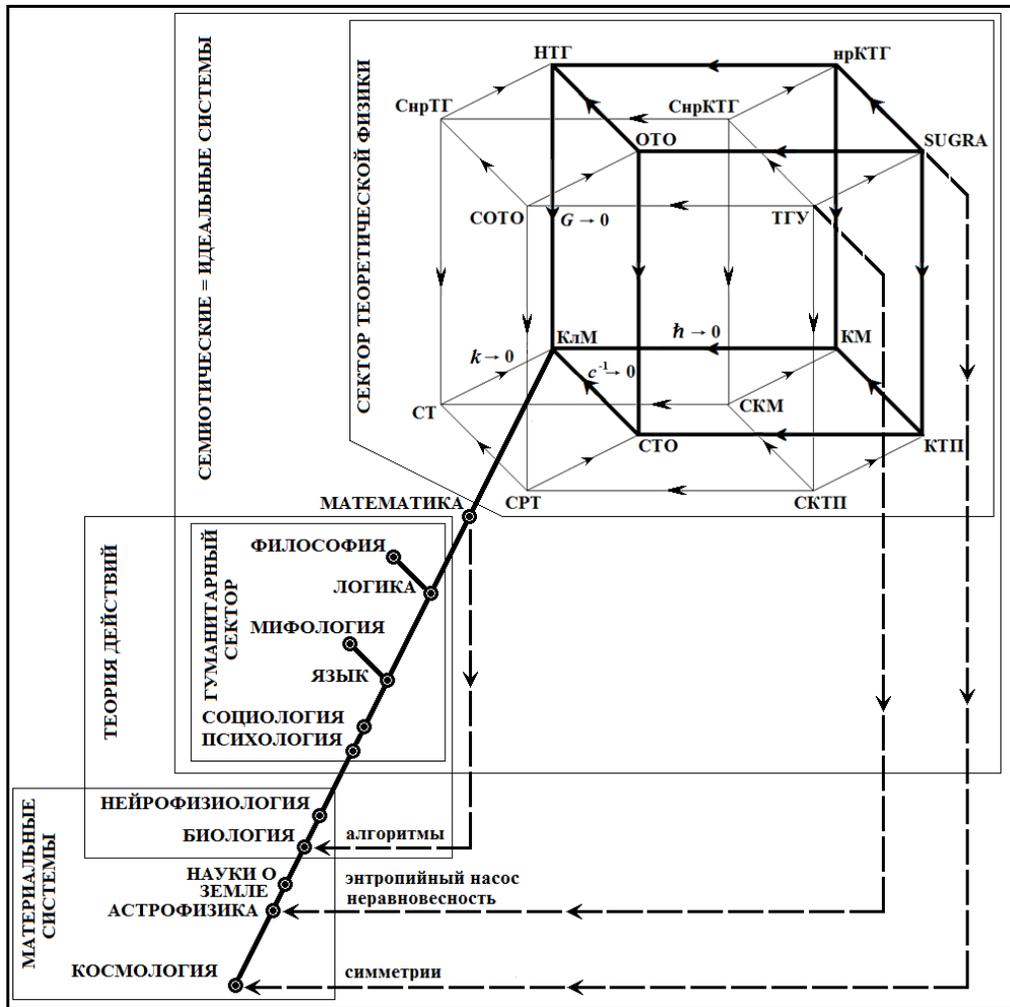


Рис. Штриховыми линиями со стрелками обозначены операции гипостазирования, замыкающие глобальный когнитивный цикл, жирными линиями выделена ось панунификации и куб теорий Зельманова (суперунификация), тонкими линиями со стрелками — тессеракт теорий (гиперунификация)

Fig. Dashed lines with arrows denote hypostatization operations that close the global cognitive cycle, the panunification axis and Zelmanov's cube of theories (superunification) are separated by thick lines, and the tesseract of theories (hyperunification) are thin lines with arrows

⁵ "Все из бита", из Wheeler, John Archibald, 1986, "Hermann Weyl and the Unity of Knowledge", American Scientist, 74, pp. 366–375.

4. Завершение программы Пифагора-Платона и фиаско телеологии

Ионийские "физиологи", представители милетской школы, воспитанные на традициях позднего героизма, отбросив мифологическую картину мира, основанную на противопоставлении небесного и земного, мира богов миру людей, открыли могущество человеческого разума: они первыми предприняли дерзновенную попытку — объять человеческим разумом Вселенную, рассчитывая при помощи рациональности за текучей изменчивостью, многообразием и хаотичностью мира обнаружить неизменность, единство и порядок, установить движущую причину изменений и постичь замысел Демиурга⁶ — рациональный план эволюции Вселенной.

Пифагор пошёл дальше своих современников, земляков и учителей, утверждая, что Вселенная не только рациональна, но и построена Демиургом по математическому плану. Раскрытие этого плана, великой тайны мировой гармонии⁷ — всепроникающего единства меры, симметрии и пропорции, беспредельного (*ἀπειρον*, *αλέρας*) и предела (*πέρας*), бесконечного и конечного, вечного и преходящего, частей и целого должно было, по убеждению Пифагора, приблизить душу человека к богу и освободить её от перевоплощений.

В трактатах «Государство», «Законы» и «Послезаконие» Платон, разделив астрономию на наблюдательную и теоретическую, целью последней поставил раскрытие замыслов Демиурга. Для этого, с точки зрения Платона, в первую очередь необходимо найти истинные орбитальные скорости планет, предполагая, что они движутся по окружностям. Симпликий в комментариях к трактату Аристотеля «О небе» так пишет о первой в истории человечества научно-исследовательской (эпистемической) программе Пифагора-Платона: "Приняв принципиальное допущение, что небесные тела движутся круговым, равномерным и неизменно постоянным движением, он поставил перед математиками следующую задачу: "Какие из равномерных, круговых и упорядоченных движений должны быть положены в основу [теории], чтобы можно было объяснить явления, связанные с "блуждающими" светилами?". Первым на призыв Платона построить кинематическую модель мироздания для "спасения явлений" (*σώζειν φαινόμενα*) откликнулся пифагореец Евдокс Книдский, разработавший геоцентрическую теорию гомоцентрических сфер, и, по-видимому, первым оценившим размеры Земли, а столетие спустя, Аристарх Самосский, ученик Стратона и преемник Феофраста по руководству Ликеем, первым построил гелиоцентрическую модель Солнечной системы и впервые измерил её параметры.

⁶ Δημιουργός, ион. δημιουργός — 1) занимающийся общепольным ремеслом, работающий для народа, творец; 2) демиург, высшее правительственное лицо в дорийских государствах.

⁷ Гармония (*ἁρμονία* — связь, скрепа, договор, правильное, прекрасное соотношение всех частей в каком-либо предмете, созвучие, соразмерность, стройный порядок) — единство меры, симметрии и порядка, *ἁρμόδιος* — прилаженный, подходящий, соответственный, удобный; *ἁρμόζω* — прилаживать, связывать, соединять, быть в пору, ловко сидеть; *ἁρμονικός* — гармонический, музыкальный; *ἁρμός* — связь, сустав; *ἁρμόσμη* — связь, скрепа; *ἁρμόστης* — устроитель, наместник, гармонист; *ἁρμόστωρ* — правитель.

По Аристотелю различие научных объяснений от философских заключается в том, что научное объяснение природных явлений осуществляется на основании ближних действующих причин (каузальность), в то время как философия выдвигает в своих объяснениях самые последние, предельно общие причины (телеологизм). Согласно Аристотелю, "начала сущности", или принципы бытия, — то же, что "причины" (αἰτίαι), их столько же, сколько метафизических причин:

1) οὐσίαν καὶ τὸ τί ἦν εἶναι — "сущность и суть бытия", αἴτιον δὲ καὶ ἀρχὴ τὸ διὰ τί πρῶτον — "причина (основание), благодаря чему <вещь именно такова> есть некоторая причина и начало", форма (εἶδος, ἰδέα, μορφή, causa formalis), или "чтойность", или сущность (essentia);

2) ὕλη καὶ τὸ ὑποκειμένον — "материя (causa materialis) и "то из чего", субстрат (substratum) лежащий в основе";

3) ὅθεν ἢ ἀρχὴ τῆς κινήσεως — "то, откуда начало движения", источник движения (κινούν, τὸ πρῶτον κινούν, primum movens, causa efficiens), или "творящее" начало и

4) τὸ οὗ ἕνεκα "то, ради чего" — цель, телос (τέλος, causa finalis).

Они выступают факторами, конституирующими конкретную вещь, "вот-это-вот-ничто" (τόδε τι) или первую сущность (πρώτη οὐσία). «Форма» Аристотеля — это платоновская идея, превращённая из трансцендентного первообраза (παράδειγμα) в имманентный принцип вещи. Материя есть чистая возможность, или потенция (δύναμις) вещи, форма — осуществление (ἐνέργεια, ἐντελέχεια) этой потенции. Проблема объяснения движения тела при отсутствии действующей силы, разрушавшая основы перипатетической физики, вынудила Аристотеля разработать механический вариант концепции антиперистасиса⁸ — ахиллесову пятаю всей механики Стагирита, позднее трансформировавшуюся в теорию импетуса. Аристотель отрицал существование актуальной бесконечности, поэтому его космос был конечен, в отличие от космоса Анаксимандра и Архита.

С возрастанием технологической мощи человека и укреплением позиций рационализма мир богов все более и более отдалялся от мира людей: если в доклассическую эпоху люди, духи и боги воспринимались как часть природы, то в классический период мир богов был вытеснен на Олимп, а в период эллинизма Эпикур вообще переместил мир богов в "междумирье" — метакосмии (греч. μετακόσμια) или интермундии (лат. intermundia), и отстаивал тезис о невмешательстве богов в земные дела.

⁸ Антиперистасис (др. греч. ἀντιπερίστασις — обратное движение) – перипатетический термин, использовавшийся натурфилософами для «объяснения» процессов, в которых, по их представлениям, одно качество усиливает силу другого, противоположного, качества. В механике антиперистасис «объяснял» инерционное движение тела вихревым движением среды (воды или воздуха), подталкивающим тело вперед. В этом случае движение в вакууме невозможно, а отсюда следовал тезис о невозможности вакуума: греч. οὐκ ἔστι κενόν — не существует пустоты — Аристотель, Физика, 4.8, 216b и лат. Natura abhorret vacuum – природа не терпит пустоты.

Телеология Аристотеля и его идея перводвигателя (πρώτον κινούν) пережили язычество и совечного с материей Демиурга и стали основополагающими концепциями христианской теологии с её уже трансцендентным Творцом, а философия перипатетизма была канонизирована католической церковью. На закате средневековья схоластические бесконечные споры об импетусе поколебали авторитет Стагирита и И. Бекман первым отказался от него, а Р. Декарт сформулировал закон инерции, сделавший бесполезным перводвигатель, а также посеявший семена деизма. Механика Галилея-Ньютона отказалась от телеологии в пользу каузальности, основанной на пространственно-временной локальности начальных условий и физическом законе, однако механический детерминизм, граничащий с фатализмом, ещё давал повод для теологических спекуляций. Так современник Ньютона, представитель кембриджского неоплатонизма Генри Мор выдвинул идею, что вездесущность Бога должна пониматься как пространственная, а само пространство как имматериальная субстанция, "чувствилище Бога" (*sensorium commune*), но эта идея, несомненно, оказавшая влияние на представление о ньютоновском абсолютном пространстве и дававшая возможность теологического обоснования неконтактному взаимодействию, позднее была вытеснена из естествознания концепцией физического поля с идеей близкодействия.

На решение проблем, сформулированных Пифагором и Платоном, человечеству понадобилось две с половиной тысячи лет, но ныне живущее поколение — первое в истории Земли, которое знает практически полностью и иерархическую структуру Вселенной, и физические законы, действующие на каждом уровне, а также вплотную приблизилось к пониманию природы и свойств материальной первоосновы всего сущего. Вселенная оказалась безграничной, но вопрос о её конечности или бесконечности оказался обескураживающим. Он удивительным образом связался с выбором метрики Фридмана-Робертсона-Уокера: в статичной системе координат, связанной с Землёй, мир оказался конечным, а в сопутствующей системе отсчёта с учётом эффекта Лоренца-Фицджеральда — бесконечным. Таким образом, проблема Архита-Аристотеля из абсолютной стала относительной. Самым удалённым наблюдаемым процессом во Вселенной с красным смещением $z = (T_1 - T_2)/T_2 \sim 1110$ оказался процесс отделения излучения от вещества и формирования микроволнового фонового (реликтового) излучения на поверхности последнего рассеяния ($r = 0,999998 \cdot R = 4,3$ Гпк, где R — расстояние до горизонта Вселенной) через 379 тыс. лет после Большого взрыва, чуть ближе был зарегистрирован гамма-всплеск GRB100205A с $z = 11-13,5$, который произошёл через 140–200 млн. лет после Большого взрыва, т. е. 14,22–14,28 млрд. лет назад, а самым удалённым объектом признана протогалактика UDFj-39546284 в созвездии Печь с $z = 11,9$ и возрастом 14,25 млрд. лет.

В ходе своего развития наука вышла на свои границы, которыми являются:

- 1) *наблюдательный предел* в области Мегамасштабов, практически совпадающий с горизонтом Метагалактики, являющийся абсолютным пределом, не позволяющий получить никакую информацию о том, что творится за пределами сферы радиуса $R > 10^{26}$ м и за интервалом времени $T > 14,42$ млрд. лет;
- 2) *экспериментальный предел* в микромире ставит максимальная энергия космических лучей $E \sim 10^{20}$ эВ, которая не даёт возможности заглянуть в глубь материи на расстояния $r < 10^{-26}$ м и выявить процессы длительностью $t < 10^{-35}$ с;
- 3) *трансвычислительный предел* связан с ограниченностью объёма информации, больше которого человек при всех технических ухищрениях не в силах переработать, это так называемый предел Бремерманна в 10^{93} бит;
- 4) *предел прогнозирования* детерминирован явлением, которое носит название динамического хаоса;
- 5) *концептуальный предел* обусловлен а) сложностью тех структур, с которыми может работать человеческий мозг, б) явной тенденцией к полной геометризации фундаментальной физики.

Таким образом, вся доступная измерениям Вселенная заключена в пространственно-временные границы экстремального хронотопа: $10^{-28} < r < 10^{26}$ м и $10^{-36} < t < 10^{18}$ с. Геометризация физики преподнесла сюрпризы, о которых не мог мечтать Пифагор. Физической основой Универсума на самом деле оказался не тетрактис, которым при посвящении клялись пифагорейцы (οὐ μὰ τὸν ἀμετέρα κεφαλᾶ παραδόντα τετρακτὸν, παῦν ἀνάου φύσεως ῥίζωμά τ' ἔχουσαν — нет, клянусь передавшим нашей главе тетрактис, вечной природы исток и корень в себе содержащий) и не каббалистический Тетраграмматон, а четвёрка фундаментальных взаимодействий и три поколения кварков и лептонов, из которых оказался составленным весь мир. А эта материальная основа Вселенной появилась в результате каскада спонтанных нарушений симметрии, являющейся одним из компонентов пифагорейской гармонии. Г. Вейль в своей последней книге «Симметрия» писал: "As far as I see, all a priori statements in physics have their origin in symmetry" — "Насколько я могу судить, все априорные утверждения (платоновские ἀνυπόθετον — беспредпосылочные начала — А.Б. и А.Д.) физики имеют своим источником симметрию». Структурный изоморфизм симметрий физического мира, лежащих в основе законов сохранения, и математических симметрий и является основанием "непостижимой эффективности математики в естественных науках" (Ю. Вигнер), веры, что книга природы написана на языке математики (Г. Галилей), твёрдой уверенности в том, что "наш опыт до сих пор убеждает нас, что Природа — это реализация самых простых математических идей" (А. Эйнштейн), а также убеждённости, что сутью физических процессов является математика (God does not care about our mathematical difficulties. He integrates empirically — Господа не заботят наши математические трудности. Он интегрирует эмпирически. А. Эйнштейн).

Элементарные частицы обрели статус простейших представлений групп Пуанкаре и Лоренца, фундаментальные взаимодействия превратились в ковариантные производные, физические законы обратились в тождества Бьянки и структурные уравнения Маурера-Картана, суперсимметрия стёрла границу между фермионами и бозонами и растворила физику в геометрии расслоённых супермногообразий, а процедура квантования свелась к построению ассоциативной некоммутативной алгебры на этих супермногообразиях. Единая теория гравитации и электромагнетизма, над которой 30 лет безуспешно работал А. Эйнштейн оказалась простейшей моделью $N=2$ — расширенной супергравитации, вложить которую в гармоническое суперпространство удалось в 1987 г. Астрофизика достигла зрелости когда, вопреки заверениям О. Конта, Г. Бёте, К. Ф. Вайцзекер и Ч. Кричфилд объяснили процесс горения звёзд, а физика элементарных частиц — когда в результате измерения ширины распада Z^0 -бозона было доказано существование во Вселенной лишь трёх поколений фермионов. Ренормировка в квантовых теориях поля, которую Р. Фейнман назвал "заметанием мусора под ковёр", оказалась просто результатом неполноты набора элементарных частиц: в полных суперсимметричных теориях эта процедура не нужна, потому что вклад каждого порядка теории возмущений конечен. Удивительная для апологетов "антропного принципа" точность подгонки фундаментальных физических констант стала понятной, когда значения этих констант были выведены в рамках унифицированных геометрических теорий.

Наконец наступила пора разобраться с мечтой "постичь замыслы Демиурга". С точки зрения наук о неорганической природе, такой замысел невозможен из-за явного доминирования стохастических процессов над детерминированными. Так вероятность возникновения Вселенной, в которой в результате каскада спонтанных нарушений симметрии фундаментальные константы совпадают с нашими, по некоторым оценкам составляет 10^{-500} , квантовая физика является принципиально статистической (вероятностной) теорией, в синергетике структуры образуются путём усиления случайных флуктуаций. Индетерминизм, стохастичность физических процессов отвергает концепцию замысла, предопределённости, что неоднократно подчёркивал А. Эйнштейн своим утверждением "God doesn't play dice with the world", ведя заочную полемику с Гераклитом, заявлявшим "αἰὼν παῖς ἐστὶ παῖζων, πεττεῦων παιδὸς ἢ βασιλῆη"⁹. До середины XX века последним прибежищем телеологии была биология. По язвительному замечанию Дж. Холдейна "Teleology is like a mistress to a biologist: he cannot live without her but he's unwilling to be seen with her in public"¹⁰. Отношение биологов к телеологии стало радикально меняться с развитием молекулярной

⁹ Век – дитя играющее, кости бросающее, дитя на престоле.

¹⁰ Mayr Ernst, 1974, Teleological and Teleonomic, a New Analysis, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. XIV, pp. 91–117.

генетики, новых открытий в эмбриологии и разработкой концептуальных основ EvoDevo, которые убедительно доказали отсутствие "генерального плана" онтогенеза и пространственно-временную локализованность алгоритмов морфогенеза. Окончательным, решающим аргументом стала монография С. Оно «Эволюция путём геной дупликации» [54], показавшего, что в основе биологической эволюции лежат ошибки при копировании генетической информации.

Неустрашимый стохастизм физических и физико-химических процессов вкупе с биохимической генерацией ошибок ставят крест на концепции телеологии и надежде постичь замысел Демиурга. Никаких телеологических замыслов не было, нет, и не могло быть. Ни эволюция Вселенной, ни биологическая эволюция не имеют никакой цели.

Заключение

В рамках АТЭ мы попытались:

- показать, как эволюция алгоритмов трансформировала сущность материи от пассивности неорганического субстрата на доинформационном этапе через реактивность низших форм жизни на гено-регуляторном уровне, активность и последующую когнитивность на нейро-этологическом к креативности на семиотическом уровне социальной формы существования материи;
- обосновать тезис Пифагора-Галилея о математической природе принципов, лежащих в основе мироздания. Явно этот тезис следует из теорем Э. Нётер, неявно — из существования аналоговых компьютеров, т. е. "математика в форме физической геометрии пространства-времени появилась за 14,42 млрд. лет до математиков";
- при помощи представлений разрабатываемой теории действий выявить эволюционно-генетические, биологические, социальные, функциональные и логические связи и отношения между материальными и семиотическими (идеальными) системами и концепциями;
- показать полную несостоятельность телеологии.

Литература

1. Pigliucci M., Müller G. B. Evolution — the Extended Synthesis. The MIT Press. 2010, 504 p.
2. Gilbert S. F., Bosch T. C. G., Ledon-Rettig C. EcoEvoDevo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents. // Nature Reviews Genetics. 2015. Vol. 16, No. 10. P. 611–622.
3. Бурундуков А. С., Дроздов А. Л., Казанский Б. А. Палеонтологический парадокс — гордиев узел глобального эволюционизма. — Саарбрюккен: LAP, 2016. 301 с.
4. Бурундуков А. С., Дроздов А. Л. Гигантские ящеры – палеонтологический вызов междисциплинарному синтезу // Биота и среда заповедников Дальнего Востока = Biodiversity and Environment of Far East Reserves. 2015. № 5. С. 93–113.
5. Бурундуков А. С., Дроздов А. Л. Репликаторно-этологическая теория семантической информации: от гена к нему // Биота и среда заповедных территорий. 2018. № 2. С. 85–120.

6. Eilenberg S., MacLane S. General Theory of Natural Equivalences. // Transactions of the American Mathematical Society. 1945. Vol. 58, No. 2. P. 231–294.
7. MacLane S. Categories for the Working Mathematician. – New York: Springer, 2015. 287 p.
8. Goldblatt R. Topoi: the categorical analysis of logic. – Mineola New York: Dover Publications Ink., 2006. 551 p.
9. Lotka A. J., Dublin L. I. On the true rate of natural increase as exemplified by the population of the USA, 1920. // Journal of the American statistical association. 1925. Vol. 20. № 150.
10. Volterra V. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. // Memoria della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. 1926. No. 2. P. 31-113.
11. Hoppensteadt F. Mathematical theories of populations: demographics, genetics, and epidemics. – Philadelphia: Society for Industrial Mathematics. 1997. 72 p.
12. Handbook of Statistical Systems Biology / Eds. M. Stumpf, D. Balding, M. Girolami – Wiley, 2011. 508 p.
13. Setubal J., Meidanis J., Introduction to Computational Molecular Biology. – Boston: PWS Publishing, 1997. 296 p.
14. Pastor J. Mathematical Ecology of Populations and Ecosystems. – Wiley-Blackwell, 2008. 344 p.
15. Rashevsky N. Life, information theory and topology. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1955. No. 17. P. 229–235.
16. Rashevsky N. The geometrization of biology. // Bulletin of Mathematical Biology. 1956. Vol. 18, No. 1. P. 31–56.
17. Rashevsky N. Organismic Sets: Some Reflections on the Nature of Life and Society. – Michigan: Grosse Pointe, 1972. 213 p.
18. Rosen R. A relational theory of biological systems. // Bulletin of Mathematical Biology. 1958. Vol. 20, No. 3. P. 245–260.
19. Rosen R. The representation of biological systems from the standpoint of the theory of categories. // Bulletin of Mathematical Biology, 1958. Vol. 20, No. 4. P. 317–341.
20. Rosen R. Some realization of (M, R) -systems and their interpretation. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1971. No. 33. P. 303–319.
21. Rosen R. On the dynamical realization of (M, R) -systems. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1973. No. 35. P. 1–9.
22. Bartholomay A. F. Molecular set theory. A mathematical representation for chemical reaction mechanisms. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1960. No. 22. P. 285–307.
23. Bartholomay A. F. Molecular set theory. II. An aspect of biomathematical theory of sets. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1965. No. 27. P. 235–251.
24. Baianu J., Marinescu M. Organismic supercategories. I. Proposals for a general unitary theory of systems. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1968. No. 30. P. 625–635.
25. Baianu J. Organismic supercategories. II. On multistable systems. // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1970. No. 32. P. 539–561.
26. Leguizamon C. A. Concept of energy in biological systems. A theory for environmental systems. // Bulletin of Mathematical Biology. 1975. No. 37. P. 565–572.
27. Leguizamon C. A. The periodic continuous effect in terms of the algebraic relational theory. // Journal of Biological Systems 1993. Vol. 1. No. 1. P. 89–113.
28. Arbib M. Categories (M, R) -systems. // Bull. Math. Biophys., 1966. No. 28. P. 511–517.
29. Bertalanffy L. General systems theory. Foundation, development, application. – N.Y., Georg Braziller, 1968. 289 p.
30. Negoita C. V., Ralesku D. A. Applications of fuzzy sets to system analysis. – Basel: Birkhauser Verlag, 1975. P. 246–252.
31. Бусленко Н. П., Осетинский Н. И. Динамические системы и категории. // Пробл. киберн., 1977. Т. 32. С. 71–89.

32. Mesarovic M., Takahara Y., *General System Theory: Mathematical Foundation*. – Elsevier, 1975. 322 p.
33. Степанов Б. В. Применение понятий и конструкций теории категорий в качестве языка сложных систем // Труды Моск. гос. пед. ин-та им. В.И. Ленина, 1978. Т. 6. С. 93–103.
34. Arbib M. A., Manes E. G., 1974, *Foundation of System Theory: Decomposable Systems, Automatica*. Vol. 10, issue 3. May 1974. P. 285–302.
35. Kline M. *Mathematics: The Loss of Certainty*. – Oxford: University Press, 1980. 366 p.
36. Geem Z. W., Kim J. H., Loganathan G. V. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search // *Simulation*. 2016. Vol. 76. No. 2. P. 60–68.
37. Atalshpaz-Gargari E., Lucas C. Imperialist competitiv algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. – *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2007. P. 4661–4667.
38. Dorigo M. *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy. 1992. 31 p.
39. Dorigo M., Gambardella L. M. Ant colonies for the travelling salesman problem // *Biosystems*, 1997. Vol. 43, No. 2. P. 73–81.
40. Stützle T., Hoos H. H. MAX-MIN ant system. // *Future generation computer systems*. 2000. Vol. 16, No. 8. P. 889–914.
41. Krishnanand K. N., Ghose D. Detection of multiple source location using a glowworm metaphor with applications to collective robotics. // *Proceeding 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium 2005. SIS 2005*. P. 84–91.
42. Eusuff M., Lansey K., Pasha F. Shuffled frog-leaping algorithm: A memetic meta-heuristic for discrete optimization. // *Engineering Optimization*, 2006. Vol. 8, No. 2. P. 129
43. Yang X.-S., Deb S. Cuckoo Search via Levy flights. // *World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*. 2009. P. 210–214.
44. Yang X.-S. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)* // *Studies in Computational Intelligence*. 2010. No. 284. P. 65–74.
45. Karaboga D. Artificial bee colony algorithm. // *Scholapedia*, 2010. Vol. 5. No. 3. 6915.
46. Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm. *Technical Note, Manufacturing Engineering Centre*. – Cardiff University, UK, 2005. 39 p.
47. Yang X.-S. *Unconventional Computation and Natural Computation*. // *Lecture Notes in Computer Science*, 2012. P. 7445.
48. Eesa A. S., Brifcani A. M. A., Orman Z. Cuttlefish Algorithm — A Novel Bio-Inspired Optimization Algorithm. // *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2013. Vol. 4, No. 9. P. 1978-1986.
49. Rosenberg L. Artificial Swarm Intelligence, a Human-in-the loop approach to AI. *Proceeding of the 13th Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-16)*, February 12. 2016. P. 4381–4382.
50. Nicolis J. S., *Dynamics of Hierarchical Systems. An Evolutionary Approach*. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1986. 397 p.
51. Шанин Н. А. Конструктивные вещественные числа и конструктивные функциональные пространства // Труды математического института АН СССР. 1962. Т. 67. С. 15–294.
52. Колмогоров А. Н., Три подхода к определению понятия “количество информации”. // *Пробл. передачи информ.* 1965. Т. 1, вып. 1. С. 3–11.
53. Марков А., Наймарк Е. *Эволюция. Классические идеи в свете новых открытий*. М.: АКТ, 2014. 656 с.
54. Ohno Susumu, *Evolution by gene duplication*. – New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1970. 160 p. ISBN 0-04-575015-7.

**Problem of Mathematical Formalization of Biology,
Algorithmic Theory of Evolution and
Complete of the Pythagoras-Platon Program**

Burundukov A. S.^{1,2}, Drozdov A. L.^{2,3}

¹*G. I. Nevelskoy, Marine State University, Vladivostok, 690059, Russian Federation*

²*Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690050, Russian Federation*

email: aleksandr.burundukov2012@mail.ru;

³*National Scientific Center of Marine Biology, Vladivostok, 690041, Russian Federation*

email: anatoliyld@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the development of the principles of the algorithmic theory of evolution (ATE). At the beginning of the work, it is stated that the processes of unification, integration and generalization of biological theories from the emergence of the synthetic evolution theory, through the evolution evolution formulation (EvoDevo), to the emergence of the concepts of extended evolutionary synthesis and ecological evolutionary biology (EES / EcoEvoDevo), are irreversible, theory of semantic information. In the first section, "Exodus from Cantor's Paradise," the dramatic division of mathematicians into sects of logicians, intuitivists, formalists and constructivists, the emergence of the theory of algorithms and the theory of categories and functors, the inevitable complication of the mathematical apparatus with the depth of generalization and the universalization of physical theories is demonstrated, that for the creation of mathematical biology it is necessary to expand the basis of mathematical concepts, including in it theories of categories and functors, topos, algorithms, research Anya in the field of artificial intelligence and artificial neural network. At the end of the section, the process of the mathematization of biology and the inverse influence of biology on mathematics are discussed in the development of stochastic optimization algorithms using metaphorical metaheuristics of clearly biological origin. The second section is devoted to a brief presentation of the fundamentals of the replicator-ethological theory of semantic information (RETSI), and the third — to the formulation of the principles of ATE. In terms of constructive mathematics, definitions of the constructive object and algorithm are given and, to include the theory of algorithms in the mathematical basis of theoretical biology, it is proposed to reinterpret the theory of algorithms built for computational algorithms into the theory of regulatory algorithms, a particular case of which are control algorithms. For this, it is necessary 1) to abandon the accuracy and uniqueness of the algorithm; 2) allow along with the existence of computational algorithms of regulatory algorithms; 3) recognize the obvious fact of the existence of constructive objects of the material world. This process can begin with the replacement of single-valued functions and mapping with correspondences, convert as a set of binary relations into fuzzy sets, and supplement the computational processes with real, empirical processes. As a result, mathematics will follow physics and merge with natural science.

The Turing-Post thesis applied to the biological replicator will be reduced to the obvious statement that to each potentially viable complete set of regulatory algorithms there corresponds an equivalent organism, Church's thesis, according to which the class of functions computable with the help of algorithms coincides with the class of partially recursive functions is transformed into the trivial statement on the quasi-closedness of the metabolic processes of the organism, and the K. Gödel's theorems on the incompleteness of formal systems will turn into a statement of facts 1) the principle any imperfection of any functional system; impossibility of the existence of an ideal organism; 2) the inevitability of the emergence of hierarchically higher regulatory algorithms, and 3) the inevitability of species divergence in the process of biological evolution. From the fact that the algorithm itself is a

constructive object, it follows that we can consider algorithms from algorithms, that is, to describe in a natural way the emergence of hierarchical levels of information processing. The main thesis of the ATE is to assert that the connection between the replicator and the functional system can be established within the framework of algorithmic information theory of Kolmogorov, RETSI is responsible for the relationship of the organism with the environment, and the ATE should synthesize both approaches. But, if the ontogenesis is the main object of evolution of multicellular ones, and ontogeny represents the realization of chemical algorithms of self-organization, then the entire biological evolution will be reduced to the evolution of ontogeny algorithms. It is possible to strengthen this thesis by saying that in the pre-information period of the existence of the universe, when the replicators did not yet appear, the evolution of the universe was determined by algorithms in the form of conservation laws, immanent to the space-time-matter complex and embodied in its symmetries.

Then the whole evolution of the universe, inorganic, biological and social world will turn out to be an evolution of algorithms, which justifies the term ATE and allows us to rethink J. Wheeler's thesis "It from bit". The last, fourth section of the article talks about the completion of the epistemic program of Pythagoras-Plato on the measurement and study of the universe, the ultimate goal of which was comprehension of the Demiurge's intentions and the substantiation of the natural scientific thesis: "there were no teleological intentions, no, and could not be."

Key words: Algorithmic theory of evolution, algorithmic information theory of Kolmogorov, replicator-ethological theory of semantic information, the Turing-Post thesis, the Gödel's theorems on the incompleteness of formal systems.

References

1. Pigliuc M., Müller G. B. (eds.), 2010, *Evolution — the Extended Synthesis*, 504 p., The MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England.
2. Gilbert S. F., Bosch T. C. G., Ledon-Rettig C., 2015, EcoEvoDevo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents, *Nature Reviews Genetics*, no. 10, pp. 611–622.
3. Burundukov A. S., Drozdov A. L., Kazanskiy B. A., 2016, *Paleontologicheskij paradoks — gordiev uzel global'nogo jevoljucionizma* [The paleontological Paradox — Gordian Knot of global Evolutionism], 299 p., LAP, Saarbrücken, (in Russ.)
4. Burundukov A. S., Drozdov A. L., 2015, Giant dinosaurs — paleontological defiancetointer disciplinary synthesis, *Biota i sreda zapovednikov Dal'nego Vostoka = Biodiversity and Environment of Far East Reserves*, no. 5, pp. 93–113.
5. Burundukov A. S., Drozdov A. L., 2018, Replicator-Ethological Theory of Semantic Information: From the Gene to Neme, *Biodiversity and Environment of Protected Areas*, no. 2, pp. 85–120.
6. Eilenberg S., MacLane S., 1945, General Theory of Natural Equivalences, *Transactions of the American Mathematical Society*, vol. 58, no. 2, 231–294.
7. MacLane S., 1998, *Categories for the Working Mathematician*, 287 p., Springer, New York.
8. Goldblatt R., 2006, *Topoi: the categorical analysis of logic*, 551 p., Dover Publications, Ink., Mineola, New York.
9. Lotka A. J., Dublin L. I., 1925, On the true rate of natural increase as exemplified by the population of the USA, 1920, *Journal of the American statistical association*, vol. 20, no. 150.
10. Volterra V., 1926, Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi, *Memoria della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, no. 2, pp. 31-113.
11. Hoppensteadt F., 1997, *Mathematical theories of populations: demographics, genetics, and epidemics*, 72 p., Society for Industrial Mathematics, Philadelphia.
12. Stumpf M. P. H., Balding D. J., Girolami M. (eds.), 2011, *Handbook of Statistical Systems Biology*, 530 p., John Wiley & Sons, Chichester, UK.

13. Setubal J., Meidanis J., 1997, *Introduction to Computational Molecular Biology*, 296 p., PWS Publishing, Boston.
14. Pastor J., 2008, *Mathematical Ecology of Populations and Ecosystems*, 344 p., Wiley-Blackwell.
15. Rashevsky N., 1955, Life, information theory and topology, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 17, pp. 229–235.
16. Rashevsky N., 1956, The geometrization of biology, *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 18, no. 1, pp. 31–56.
17. Rashevsky N., 1972, *Organismic Sets: Some Reflections on the Nature of Life and Society*, 213 p., Mathematical Biology Inc., Grosse Pointe, Michigan.
18. Rosen R., 1958, A relational theory of biological systems, *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 20, no. 3, pp. 245–260.
19. Rosen R., 1958, The representation of biological systems from the standpoint of the theory of categories, *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 20, no. 4, pp. 317–341.
20. Rosen R., 1971, Some realization of (M, R)-systems and their interpretation, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, pp. 303–319.
21. Rosen R., 1973, On the dynamical realization of (M, R)-systems, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 35, pp. 1–9.
22. Bartholomay A. F., 1960, Molecular set theory. A mathematical representation for chemical reaction mechanisms, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 22, pp. 285–307.
23. Bartholomay A. F., 1965, Molecular set theory. II. An aspect of biomathematical theory of sets, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 27, pp. 235–251.
24. Baianu J., Marinescu M., 1968, Organismic supercategories. I. Proposals for a general unitary theory of systems, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 30, pp. 625–635.
25. Baianu J., 1970, Organismic supercategories. II. On multistable systems, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 32, pp. 539–561.
26. Leguizamón C. A. 1975, Concept of energy in biological systems. A theory for environmental systems, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, no. 37, pp. 565–572, 675–689.
27. Leguizamón C. A., 1993, The periodic continuous effect in terms of the algebraic relational theory, *Journal of Biological Systems*, no. 1, pp. 1–25.
28. Arbib M., 1966, Categories (M, R)-systems, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 28, pp. 511–517.
29. Bertalanffy L., 1968, *General systems theory. Foundation, development, application*, 289 p., Georg Braziller, N.Y.
30. Negoita C. V., Ralescu D. A., 1975, *Applications of fuzzy sets to system analysis*, pp. 246–252, Birkhauser Verlag, Basel.
31. Buslenko N. P., Osetinskiy N. I., 1977, Dinamicheskie sistemy i kategorii [Dynamical systems and Categories], *Problemy kibernetiki*, vol. 32, pp. 71–89. (in Russ.)
32. Mesarovic M., Takahara Y., 1975, *General System Theory: Mathematical Foundation*, Elsevier, 322 p.
33. Stepanov B. V., 1978, Primenenie ponyatiy i konstruktsiy teorii kategoriy v kachestve yazyka slozhnykh sistem [The concepts and category theory construction's application as complex system's language], *Trudy Moskovskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta imeni V.I. Lenina*, vol. 6, pp. 93–103. (in Russ.)
34. Arbib M. A., Manes E. G., 1974, Foundation of System Theory: Decomposable Systems, *Automatica*, vol. 10, issue 3, May 1974, pp. 285–302.
35. Kline M., 1980, *Mathematics: The Loss of Certainty*. Oxford University Press, 366 p.
36. Geem Z. W., Kim J. H., Loganathan G. V., 2016, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, vol. 76, no. 2, pp. 60–68.

37. Atalshpaz-Gargari E., Lucas C., 2007, Imperialist competitiv algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, in *Proceeding of the IEEE Congress on Evolutionary Computation. 25–28 September, 2007, Singapore*, pp. 4661–4667. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
38. Dorigo M., 1992, *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, PhD thesis, 31 p., Politecnico di Milano, Italy.
39. Dorigo M., Gambardella L. M., 1997, Ant colonies for the travelling salesman problem, *Biosystems*, vol. 43, no. 2, pp. 73–81.
40. Stützle T., Hoos H. H., 2000, MAX–MIN ant system, *Future generation computer systems*, vol. 16, no. 8, pp. 889–914.
41. Krishnanand K. N., Ghose D., 2005, Detection of multiple source location using a glowworm metaphor with applications to collective robotics, in *Proceeding of the 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, 8–10 June 2005 Pasadena, CA, USA*, pp. 84–91, SIS.
42. Eusuff M., Lansey K., Pasha F., 2006, Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, *Engineering Optimization*, vol. 38, no. 2, pp. 129–154.
43. Yang X.-S., Deb S., 2009, Cuckoo Search via Levy flights, in *Proceeding of the World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), 9–11 December 2009, Coimbatore, India*, pp. 210–214, IEEE Publications.
44. Yang X.-S., 2010, A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm, in Gonzalez J., Pelta D., Cruz C., Terrazas G. and Krasnogor N. (eds.), in *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010), vol. 284 of Studies in Computational Intelligence*, pp. 65–74. Springer, Berlin and Heidelberg.
45. Karaboga D., 2010. Artificial bee colony algorithm. *Scholapedia*, vol. 5, no. 3, pp. 6915.
46. Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M., 2005, *The Bees Algorithm. Technical Note, Manufacturing Engineering Centre*, 39 p., Cardiff University, UK,
47. Yang X.-S., 2012, Unconventional Computation and Natural Computation, *Lecture Notes in Computer Science*, 7445.
48. Eesa A. S., Brifcani A. M. A., Orman Z., 2013, Cuttlefish Algorithm — A Novel Bio-Inspired Optimization Algorithm, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, no. 9, pp. 1978–1986.
49. Rosenberg L., 2016, Artificial Swarm Intelligence, a Human-in-the loop approach to A.I., in *Proceeding of the 13th Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-16), February, 12–17, 2016*, pp. 4381–4382, Phoenix, Arizona USA.
50. Nicolis J. S., 1986, *Dynamics of Hierarchical Systems. An Evolutionary Approach*, 397 p., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
51. Schanin N. A., 1962, Konstruktivnye veshhestvennye chisla i konstruktivnye funkcional'nye prostranstva [Constructive real numbers and constructive functional spaces], *Trudy matematicheskogo instituta AN SSSR*, vol. 67, pp. 15–294. (in Russ.)
52. Kolmogorov A. N., 1965, Tri podhoda k opredeleniju ponjatija "kolichestvo informacii" [Tree approach to definition of conception "information quantity"], *Problemy peredachi informacii*, vol. 1, issue 1, pp. 3–11. (in Russ.)
53. Markov A., Naimark E., 2014, *Evoljucija. Klassicheskie idei v svete novyh otkrytij* [Evolution. Classical ideas in the light of new discoveries], 656 p., АСТ, Moscow. (in Russ.)
54. Susumu O., 1970, *Evolution by gene duplication*, 160 p., Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. ISBN 0-04-575015-7.

Статья принята для публикации 01.10.2018.