

УДК 167

*Новиков Н.Б.*

*Институт психологии РАН*

*Россия, г. Москва*

*Novikov N.B.*

*Institute of Psychology RAS*

*Russia, Moscow*

## **СИЛА АНАЛОГИЙ. ТВОРЧЕСТВО ВЫДАЮЩИХСЯ УЧЕНЫХ, ВДОХНОВЛЕННЫХ ИДЕЯМИ ЧАРЛЬЗА ДАРВИНА**

*Аннотация:* Теория биологической эволюции, созданная Чарльзом Дарвином, смогла «перешагнуть» границы той области, в которой она впервые была сформулирована, и оказала огромное влияние на множество других научных дисциплин. Ключевые понятия и принципы дарвиновской концепции нашли применение и были успешно ассимилированы в таких сферах научного знания, как лингвистика, иммунология, нейробиология, медицина, химия (теория гиперциклов). Эти принципы и понятия оказались полезными в экономике, теории искусственного интеллекта, эволюционной эпистемологии, описывающей развитие научных парадигм, а также в теории эволюции технических систем, в которой Б.И.Кудрин ввел понятие информационного отбора. Каким же образом произошла ассимиляция идей Ч.Дарвина в перечисленных научных дисциплинах? Мы покажем, что за каждым «актом ассимиляции» стояли конкретные ученые, которые, используя процедуру аналогии, смело переносили в новую область элементы дарвиновского наследия. Мы также покажем, что дарвиновские идеи (в терминах эволюционной эпистемологии) дают решение 18-й проблемы С.Смейла.

**Ключевые слова:** новые идеи, научные теории, обнаружение сходства, проведение аналогии.

**Abstract:** *The theory of biological evolution, created by Charles Darwin, was able to “step over” the boundaries of the field in which it was first formulated, and had a huge impact on many other scientific disciplines. The key concepts and principles of the Darwinian concept have found application and have been successfully assimilated in such areas of scientific knowledge as linguistics, immunology, neurobiology, medicine, chemistry (hypercycle theory). These principles and concepts turned out to be useful in economics, the theory of artificial intelligence, evolutionary epistemology, which describes the development of scientific paradigms, as well as in the theory of evolution of technical systems, in which B.I. Kudrin introduced the concept of informational selection. How did the assimilation of Charles Darwin’s ideas take place in the listed scientific disciplines? We will show that behind each “act of assimilation” there were specific scientists who, using the analogy procedure, boldly transferred elements of the Darwinian heritage to a new area. We will also show that Darwinian ideas (in terms of evolutionary epistemology) provide a solution to Smale’s 18th problem.*

**Key words:** *new ideas, scientific theories, discovery of similarities, drawing analogies.*

## 1. Август Шлейхер: перенос идей Дарвина в лингвистику

В 1859 г. Чарльз Дарвин опубликовал книгу «Происхождение видов путем естественного отбора», в которой показал, что колоссальное разнообразие живых организмов, населяющих нашу планету, - продукт постепенной эволюции, длившейся миллионы лет. Великий натуралист предложил теорию развития животных и растений, которая основывалась на нескольких (ключевых) принципах. Первый из них – градуализм, предполагающий медленность, постепенность (нечувствительность) изменений, которым подвергаются те или иные организмы. Ч.Дарвин отмечал: нельзя ожидать, что можно будет заметить существенные перемены меньше, чем за десятки тысяч лет. Вторым принципом – понятие общего предка, согласно которому все представители того или иного таксономического класса произошли от общего предка. Объясняя разнообразие видов, Ч.Дарвин указывал, что оно возникло в результате ответвления (отпочкования) отдельных видов от общего «ствола жизни». В его книге «Происхождение видов» имеется рисунок, изображающий схему этого ответвления (схему дивергенции). Третьим принципом – случайность наследственных изменений (вариаций), которые повышают степень адаптации животных к условиям внешней среды. Хотя английский ученый допускал возможность наследования приобретенных при жизни признаков (об этом свидетельствует его «гипотеза геммул», высказанная в 1868 г.), тем не менее, он настаивал на случайности большинства наследственных вариаций. Четвертым принципом – конкуренция между организмами за ресурсы, в которой преимущества получают особи, обладающие высокой жизнеспособностью. Этот принцип был подсказан Ч.Дарвину трактатом Томаса Мальтуса «Опыт о законе народонаселения» (1798), где рассматривалась экономическая конкуренция. Ч.Дарвин перенес экономические рассуждения Т.Мальтуса в область биологии, сформулировав понятие «борьбы за существование» среди

животных. Наконец, пятый постулат эволюционной концепции – естественный отбор. Изучив селекционную практику (искусственный отбор), с помощью которой люди выводят новые породы животных и сорта растений, Ч.Дарвин постулировал, что в дикой природе действует аналогичный механизм, который он назвал естественным отбором. В ходе этого отбора природа «отсеивает» (элиминирует) нежизнеспособные формы.

Теория Ч.Дарвина получила высокую оценку специалистов сразу же после обнародования. Она удивляла их простотой идей, раскрывающих движущие силы эволюции. Известна, например, первая реакция Томаса Гексли (1825-1895) на механизм естественного отбора, изложенный в «Происхождении видов» Ч.Дарвина: «Не додуматься до этого – какая же невероятная глупость с моей стороны» [1, с.131]. Идеи Ч.Дарвина с восхищением воспринял австрийский физик Людвиг Больцман (1844-1906), открывший статистическую интерпретацию второго начала термодинамики, то есть закона роста энтропии. Скорее всего, Л.Больцман обратил внимание на сходство между статистической природой энтропии и случайной (статистической) природой явления биологической адаптации, которую изучал Ч.Дарвин. Л.Больцман писал: «Если вы меня спросите относительно моего глубочайшего убеждения, назовут ли нынешний век железным веком или веком пара и электричества, я отвечу, не задумываясь, что наш век будет называться веком Дарвина» [2, с.202].

Ученые, представители разных научных дисциплин, «почувствовали», что Ч.Дарвину удалось расшифровать некие фундаментальные законы, на основе которых живая природа развивается и адаптируется к постоянно меняющимся условиям внешней среды. Они «почувствовали», что эти законы должны работать везде, где есть развитие и эволюция.

Одним из первых, кто понял это, был немецкий лингвист и филолог Август Шлейхер (1821-1868). Еще до появления дарвиновской теории он опубликовал первые языковые деревья индоевропейских языков. Когда же

вышел труд Ч.Дарвина «Происхождение видов», А.Шлейхер пришел к выводу о возможности перенести в лингвистику многие эволюционные понятия. В частности, А.Шлейхер решил, что существует соответствие между понятием родословного древа биологических видов и понятием родословного древа языков. Аналогично, вымирание видов соответствует вымиранию языков, изменчивость организмов – изменчивости словесных форм, биологическая борьба за существование – конкуренции языков (а также слов внутри языка). Примечательно, что эта эквивалентность между видами и языками отмечалась самим Ч.Дарвином (1871).

И.В.Стрекольников в диссертации [3] пишет об аналогии немецкого лингвиста: «А.Шлейхер полагает, что установленная Чарлзом Дарвином изменчивость видов, способствующая возникновению из одной формы многих новых особей, соответствует аналогичному процессу, происходящему среди организмов языков. Так, он пишет: «Те языки, которые по выражению ботаников и зоологов, следовало бы обозначить видами одного рода, мы считаем за детей одного общего основного языка, из которого они произошли путем постепенного изменения. Из племени языков, нам хорошо известных, мы точно так же составляем родословные, как это старался сделать Дарвин для видов растений и животных» [3, 32]. Автор продолжает: «...По словам Дарвина, если какая-нибудь группа полностью вымерла, она уже не появится, потому что цепь поколений прервана. Поэтому доминирующие формы находят широкое распространение и дают наибольшее число разновидностей, а их потомки успешно вытесняют группы, уступающие им в борьбе за существование. **Применяя** эту теорию к языкознанию, А.Шлейхер замечает, что в настоящее время победителями в борьбе за существование оказываются «индогерманские» языки, которые активно вытесняют все прочие языки» [3, с.34].

Об этом же сообщают Т.А.Амирова и др. в книге «История языкознания» [4]: «Наиболее ярко влияние теории Дарвина проявляется в **перенесении**

Шлейхером положения о «борьбе за существование» в растительном и животном мире на язык. Согласно Дарвину, в «борьбе за существование» выживают, сохраняются лишь наиболее приспособленные, жизнестойкие виды, в то время как остальные исчезают, заменяясь более стойкими. Как считает Шлейхер, это положение Дарвина без всякого изменения может быть применено к языкам» [4, с.327]. «Шлейхер переносит на язык установленный Дарвином закон изменчивости видов» [4, с.327]. «По мнению Шлейхера, в языкознании даже легче проследить изменения языков, устанавливать происхождение новых форм из прежних, чем в сфере организмов животных и растений, поскольку благодаря наличию письменных памятников некоторые языки и семейства языков можно проследить в течение более чем двух тысячелетий» [4, с.327].

## **2. Нильс Ерне: перенос идей Дарвина в иммунологию**

В свое время американский химик, лауреат Нобелевской премии, Лайнус Полинг (1901-1994) предложил теорию, призванную объяснить, как наша иммунная система распознает инфекцию и организует синтез антител для борьбы с чужеродными агентами, проникшими в организм. Л.Полинг (1940) предположил, что чужеродная частица (антиген) действует на антитело как матрица, информирующая (инструктирующая) антитело, какую конфигурацию ему следует принять, чтобы нейтрализовать антиген. Согласно Л.Полингу, при контакте с антигеном полипептидная цепь антитела приобретает такую форму, благодаря которой возникает комплементарность (соответствие) между антигеном и антителом. Первоначально ученые восприняли с энтузиазмом эту концепцию Л.Полинга, получившую название «инструктивной теории» или «теории прямой матрицы». Казалось, что она способна объяснить существование огромного количества антител, возникающих на основе немногих вариантов «аморфных заготовок» -

протоантител, имеющихся в организме [5]. Однако иммунологические эксперименты не подтвердили эту теорию Л.Полинга. Выяснилось, что полипептиды иммуноглобулинов приобретают пространственную конфигурацию, обеспечивающую высокую специфичность и эффективность иммунологической реакции, при отсутствии антигена. Эта пространственная конфигурация определяется не матрицей антигена, а последовательностью аминокислот в N-концевых частях полипептидов антител.

Таким образом, проблема синтеза огромного количества антител, способных специфически связываться с инфекционными агентами (бактериями, вирусами), оставалась открытой и требовала решения. Если эти агенты не действуют подобно матрице, если они не инструктируют лимфоциты (клетки иммунной системы) относительно формы антител, то как же тогда иммунная система «умудряется» производить антитела нужной конфигурации? Ведь если нет инструкции, заранее подготовленного плана, то трудно понять, каким образом достигается высокая степень эффективности удаления чужеродных агентов из организма.

Однако факт отсутствия инструкции (плана) напоминает то, что в живой природе, способной эволюционировать и адекватно отвечать на «вызовы» внешней среды, тоже нет готового плана, замысла. «Схема работы» живой природы сводится к тому, что она производит на свет огромное количество организмов, и те «экземпляры», которые случайно обладают полезными признаками, подхватываются естественным отбором, а остальные – выводятся из игры. Таков алгоритм, описанный в теории Ч.Дарвина.

В 1950-х годах об этой «схеме работы» живой природы размышлял британский и датский иммунолог Нильс Ерне (Niels Jerne), который одновременно сопоставлял ее с научными результатами, накопленными в иммунологии к тому времени. Н.Ерне отверг гипотезу Л.Полинга и его коллег о том, что в иммунной системе антиген служит матрицей (шаблоном) для образования соответствующего антитела. В 1955 г. ученый предположил, что

в процессе антителообразования действует механизм отбора, аналогичный естественному отбору Ч.Дарвина. Когда какие-то антитела случайно оказываются эффективными в нейтрализации конкретного антигена, иммунная система усиливает производство антител именно этой специфичности. Одновременно иммунная система прекращает синтез антител, не обладающих нужной специфичностью, т.е. неэффективных в борьбе с вирусами и бактериями. Конечно, это напоминает гибель организмов, которые не сумели адаптироваться (по теории Дарвина). Таким образом, Нильс Ерне объяснил механизм синтеза высокоспецифичных антител по аналогии с тем, как Ч.Дарвин объяснил способ появления высоко-адаптивных организмов. Другими словами, ученый перенес дарвиновскую концепцию естественного отбора в иммунологию, постулировав, что этот отбор действует и на уровне иммунных клеток (лимфоцитов). В 1984 г. Н.Ерне был удостоен за свою «дарвиновскую теорию антителообразования» Нобелевской премии по физиологии и медицине. Определенный вклад в эту теорию, часто называемую «клонально-селекционной», внес также Фрэнк Бернет, который получил эту премию раньше (в 1960 г.).

Кендалл Смит в статье «Интерлейкин-2» [6] повествует об аналогии Нильса Ерне: «Фундамент современных представлений об иммунной системе заложен в 1955 г. Н.Ерне – лауреатом Нобелевской премии в области медицины за 1984 г., - работавшим в Калифорнийском технологическом институте. Он предположил, что иммунная реактивность основана на принципе **дарвиновского** естественного отбора. В то время уже было известно, что в крови молекулы антител специфично взаимодействуют с антигенами. По гипотезе Ерне, всякий организм исходно обладает небольшим количеством антител против любого возможного антигена. Когда в организм проникает конкретный антиген, способные связываться с ним антитела подвергаются позитивному отбору (в терминологии **Дарвина**) и их количество возрастает» [6, с.16].



Об этом же пишет Н.Я.Лян в статье «Ерне Нильс» [7]: «В 1955 г. английским иммунологом Нильсом Ерне была предложена теория **естественного отбора** в антителиобразовании, согласно которой каждый индивид имеет огромное количество естественных антител со специфичностями для всех антигенов, с которыми его организм может встретиться. <...> Когда появляется чужеродный антиген, он выбирает себе наиболее подходящую молекулу антитела. Реакция «антиген - антитело» стимулирует производство антител именно этой специфичности» [7, с.5]. Автор поясняет: «...Казалось, что в иммунной системе антиген служит своего рода матрицей для образования соответствующего антитела. Однако Ерне не признавал подобных «инструктивных» теорий. Он считал, что антитела либо выбираются из уже имеющихся, либо постепенно модифицируются. Антитела как бы претерпевали эволюцию путем **естественного отбора**» [7, с.6].

Говоря об объяснении механизма образования антител, предложенного Нильсом Ерне на основе аналогии, П.Медавар и Дж.Медавар в книге «Наука о живом» [8] пишут: «...Весьма показательно, что одна из самых первых научных статей по этому вопросу, вышедшая из-под пера Нильса К.Ерне, была озаглавлена: «Теория **естественного отбора** в образовании антител» [8, с.117].

### 3. Джеральд Эдельман: перенос идей Дарвина в нейробиологию

Изучая эмбриональное развитие нервной системы (нейрогенез), ученые с удивлением обнаружили, что многим нейронам суждено погибнуть во время этого развития. Это связано с тем, что первоначально в нервной системе образуется избыточное количество нейронов, которые должны установить точные синаптические связи с другими нейронами и клетками иннервируемых органов. Нервные клетки, которые не смогли образовать синапсов (контактов) со своим окружением или образовали их с неподходящей клеткой-мишенью, «выводятся из игры». Гибнут также нейроны, которые не получили специфических средовых стимулов (сигналов извне). Например, если в момент становления зрительного анализатора свет не будет падать на глаза, то система анализа визуальной информации не будет создана. При отсутствии внешней стимуляции нейроны теряют способность возбуждаться и генерировать нервные импульсы. Разумеется, нервная система не может допустить существования нефункционирующих клеток или тканей [9, с.458]. Она также не может допустить нарушения равновесия между количеством нейронов и их мишеней. Поэтому избыточные нервные клетки удаляются путем апоптоза – процесса, при котором активируется внутренняя «суицидальная» программа клетки, состоящая в ее распаде с участием протеолитических ферментов [10, с.566]. Оставшиеся нейроны конкурируют друг с другом, и в этом процессе конкуренции одни синапсы (связи) сохраняются, а другие утрачиваются. Примечательно, что это явление впервые наблюдал еще испанский врач и гистолог Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852-1934), лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1906 г.

Но процесс конкуренции и отбора эффективно работающих нейронов и синапсов имеет место не только в процессе эмбрионального развития, но и во взрослом мозге. Когда американский ученый Джеральд Эдельман обратил внимание на это обстоятельство, он понял, что отбор групп нейронов,

эффективно выполняющих свои функции в мозге, вполне аналогичен отбору антител, способных специфично связываться с антигенами и осуществлять их нейтрализацию. А поскольку клонально-селекционная теория антителообразования была создана по аналогии с дарвиновской теорией естественного отбора, стало ясно, что селекция групп нейронов эквивалентна селекции биологических видов, конкурирующих за определенные ресурсы. Джеральд Эдельман был специалистом в области иммунологии, где он сделал ряд открытий, принесших ему в 1972 г. Нобелевскую премию. Поэтому он был хорошо знаком с теоретическими (дарвиновскими) представлениями Н.Ерне и Ф.Бернета. Осознав аналогию между процессами, происходящими в иммунной системе, и процессами, которые развиваются в мозге (в сетях нейронов), Дж.Эдельман счел возможным перенести в нейробиологию идеи селекции, уже сформулированные в иммунологии. Он предположил, что информационная нагрузка (необходимость постоянно запоминать и обрабатывать информацию) выбирает одни нервные цепи в мозге и делает ненужными другие. Информационные сигналы, поступающие в мозг, когда индивид приобретает опыт, играют роль внешней среды, которая, согласно Ч.Дарвину, отбирает наиболее приспособленные организмы. Дж.Эдельман добавил к своей идее селекции групп нейронов принцип повторной сигнализации (возврата импульсов к местам первоначальных проекций после сравнения новой информации с той, которая уже хранится в памяти). Так возникла его теория, получившая название «нейронного дарвинизма».

Аналогия Дж.Эдельмана рассматривается в значительном числе работ. Так, К.В.Анохин в статье «Когнитом» [11] пишет: «Теория селекции нейронных групп (ТСНГ) – наиболее разносторонняя и детальная из разбираемых здесь теорий. Первоначально она была сформулирована Дж.Эдельманом в виде гипотезы механизма сознания на основе селекции нейронных групп и фазной повторной сигнализации (Edelman, 1978) и затем развита в трилогии монографий (Edelman, 1987, 1988, 1989) и ряде

последующих публикаций... В исходной работе Дж.Эдельман предложил принцип соматического отбора нейронных групп в головном мозге, обеспечивающий пластичность мозга при взаимоотношениях организма с окружающей средой (Edelman, 1978). При этом он отметил **сходство** этой модели с принципами селекции в иммунной системе. В монографии «Neural Darwinism» эта идея была существенно развита и представлена в качестве общей селекционной теории мозга (Edelman, 1987). В основу теории были положены три принципа: (1) отбор в развитии, (2) отбор на основе опыта и (3) сигнализация путем повторного входа. Единицами отбора в мозге, согласно теории, являются нейронные группы – совокупности от сотен до тысяч нейронов, действующих в нервной системе как функциональные единицы (Edelman, 1987)» [11, с.55].

Б.Баарс и Н.Гейдж в 1-ом томе книги «Мозг, познание, разум» [12] отмечают: «...Нейроны образуют и создают связи между собой, основываясь на принципах **Дарвина**. Во время биологической эволюции виды адаптируются при помощи воспроизведения, мутаций, которые приводят к возникновению различных форм, и селекции из возникающего спектра частично различных организмов. Нейронный **дарвинизм** предполагает, что мозг развивается сходным образом, как при воспроизведении, изменении и селекции развивающихся нейронов, так и на поздних стадиях селекции синаптических связей. Мозг селектирует, нежели просто следует инструкции, в отличие от программ вычислительного компьютера» [12, с.449]. Авторы добавляют: «Эдельман разработал теоретическую основу для нейронного дарвинизма, которая накладывает принципы селектирования **Дарвина** на мозг, в отличие от принципов вычислительных компьютеров» [12, с.463].

Сам Дж.Эдельман в книге «Разумный мозг» [13] поясняет, что, будучи знаком с механизмами селекции, рассмотренными в теории эволюции и иммунологии, он целенаправленно искал конкретную форму отбора, пригодную для описания того, как работает наш мозг. В частности,

Дж.Эдельман пишет: «...Селекционистические представления в разных формах существуют в эволюционной теории и в иммунологии (Эдельман, 1974) и разработаны более или менее подробно. Но задача, которую я поставил себе здесь, состоит не просто в том, чтобы провести сравнение или аналогии между этими системами, а в том, чтобы выяснить, нельзя ли **использовать** какую-либо конкретную форму отбора («селекции») как основу для объяснения высших функций мозга» [13, с.72-73].

#### **4. Манфред Эйген: перенос идей Дарвина в теорию гиперциклов**

Немецкий химик Манфред Эйген (Manfried Eigen) – автор трудов, посвященных разработке методов исследования кинетики химических реакций. Он предложил релаксационные методы исследования сверхбыстрых химических реакций. Эти методы предполагают импульсное (однократное или периодическое) воздействие на химическую систему с помощью температуры, давления, электрического поля и других факторов и последующее наблюдение за тем, как указанная система переходит в новое равновесное состояние. Используя подобные методы релаксации, М.Эйген изучил, например, кинетику реакций ионов водорода и гидроксила в водном растворе, кинетику ассоциации карбоновых кислот. Применение методов релаксации к проблемам молекулярной биологии позволило изучить реакции катализа под действием ферментов, а также реакции образования полипептидами (цепочками аминокислот) спиральной структуры. В 1967 г. М.Эйген удостоен Нобелевской премии по химии с формулировкой «за исследования экстремально быстрых химических реакций, стимулируемых нарушением равновесия с помощью очень коротких импульсов энергии».

В 1970-е годы научные интересы М.Эйгена переместились в сферу проблем зарождения жизни на нашей планете. Ему хотелось понять, как в далеком прошлом происходил процесс самоорганизации индивидуальных

нуклеиновых кислот в более сложные структуры, как появились первые (примитивные) гены, способные кодировать синтез белков [14, с.791]. Манфред Эйген, наряду с Ильей Пригожиным, Германом Хакеном и Юрием Климонтовичем, стоял у истоков создания синергетики – науки, изучающей образование и самоорганизацию сложных структур в открытых системах, далеких от термодинамического равновесия [15].

В 70-е годы XX века М.Эйген разработал теорию гиперциклов – абиогенетическую теорию происхождения жизни. Гиперцикл – это способ объединения самовоспроизводящихся макромолекул в замкнутые автокаталитические химические циклы. Пример такого объединения – нуклеиново-белковый гиперцикл. Гиперциклы (при всей их чисто химической природе) обладают некоторыми признаками живого: круговорот веществ и энергии, воспроизведение с наследованием (сохранением) информации, приспособляемость к изменяющимся условиям.

Как же М.Эйген создал указанную теорию гиперциклов? По аналогии с дарвиновской теорией эволюции биологических видов. Немецкий химик перенес на гиперциклы (автокаталитические макромолекулы, являющиеся объектами добиологической эволюции) такие понятия теории Ч.Дарвина, как случайность наследственных вариаций, конкуренция между организмами, отбор наиболее оптимальных форм. Используя понятие информации, рассмотренное К.Шенноном (1948) в теории связи и аналогичное понятию энтропии Л.Больцмана, М.Эйген несколько модифицировал это понятие. Отметив, что в эволюции важна ценность информации (а не только ее количество), немецкий химик показал, что дарвиновский отбор живых организмов или химических гиперциклов – это отбор ценной информации, т.е. информации, увеличивающей степень адаптации и сложности.

Тот факт, что М.Эйген (1971, 1973) построил теорию гиперциклов по аналогии с дарвиновской концепцией эволюции, освещается во многих источниках. Так, М.В.Волькенштейн и Д.С.Чернавский [16] отмечают: «В

книге «Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул» (1973) Эйген впервые сформулировал концепцию образования упорядоченных макромолекул из неупорядоченного вещества на основе матричной репродукции и последующего отбора. Таким образом, принцип Дарвина был применен к проблемам добиологической эволюции и происхождения жизни» [16, с.5].

Тот же М.В.Волькенштейн [17] говорит, что М.Эйген, перенося дарвиновскую идею естественного отбора в теорию гиперциклов, объединил понятие отбора с понятием ценности информации: «Эйген с полной ясностью показывает, что для биологии важна ценность информации, а не ее количество. Информация обретает ценность в реальном физико-химическом процессе, и эта ценность должна быть выражена в измеримых физических величинах. Эйген предлагает теорию **отбора** и эволюции макромолекул, основанную на ценности информации, определяемой как **селективная** ценность. Селективная ценность выражается через конкретные кинетические параметры» [17, с.7].

Сам М.Эйген [18] поясняет свой подход: «Введение параметра ценности (который может меняться практически непрерывно), связанного с каждым информационным состоянием, позволяет нам развить общую теорию, которая рассматривает возникновение или самоорганизацию «ценной» информации, объединяя тем самым **дарвиновскую** теорию эволюции с классической теорией информации, а также... обеспечивая количественную основу для молекулярной биологии» [18, с.188].

Рассматривая конкуренцию гиперциклов (автокаталитических систем) друг с другом как основную причину появления универсального генетического кода и хиральности (асимметричности молекул, открытой еще Луи Пастером), Манфред Эйген [19] излагает основные моменты своей концепции: «Выводы теории селекционного поведения конкурирующих циклов можно суммировать следующим образом. При селекционных

ограничениях различные гиперциклы будут **конкурировать** за отбор. Только одна система выживает; она характеризуется наибольшей функцией ценности, которая имеет очень сложный вид и может быть выражена через параметры качества, а также через средние концентрации участников. Концентрации отдельных участников могут осциллировать, когда система проходит через нелинейную область. **Отбор** очень резкий и поэтому предполагает единственность кода и хиральности. Когда цикл начинается с выбора определенного кода и механизма трансляции, а он должен это сделать для воспроизведения своих функциональных особенностей, остро селекционное поведение приводит к универсальной утилизации (использованию – Н.Н.Б.) этого частного кода, поскольку новые циклы не могут сосуществовать после образования устойчивого гиперцикла» [19, с.574-575].

Дарвиновский принцип случайности наследственных изменений (мутаций), повышающих степень адаптации и, конечно, степень ценности той информации, которая воплощена в геноме наиболее успешных организмов, по аналогии подсказал М.Эйгену один из ключевых принципов его теории гиперциклов. И не только этой теории, но и концепции самоорганизации открытых систем, в разработке которой он принял участие (наряду с И.Пригожиным и другими учеными). Речь идет о принципе случайных событий, стимулирующих эволюцию открытых систем. В статье «Молекулярная самоорганизация...» [19] М.Эйген перечисляет основные условия (предпосылки) появления самоорганизующихся систем: 1) эволюция должна начинаться со **случайных** событий; 2) самоорганизация требует инструктивных свойств на молекулярном уровне; 3) информация «порождается» или приобретает ценность в результате отбора; 4) отбор происходит среди особых веществ в особых условиях [19, с.546-547].

Манфред Эйген подчеркивает, что в мире гиперциклов (на стадии добиологической эволюции) конкуренция была более интенсивной и «бескомпромиссной», чем дарвиновская конкуренция между видами:



«...Гиперциклы конкурируют даже еще более **ожесточенно**, чем дарвиновские виды, с любой самовоспроизводящейся единицей, не являющейся частью гиперцикла. Далее, они способны устанавливать глобальные формы организации благодаря свойству отбирать «раз и навсегда», которое не допускает сосуществования с другими гиперциклическими системами, если только они не стабилизированы связями более высокого порядка» [20, с.28].

Ч.Дарвин не знал, что наследственные вариации, возникающие случайно, - это ошибки репликации ДНК или РНК, происходящие с определенной частотой при скрещивании организмов. М.Эйген разработал теорию порога ошибки, согласно которой ошибки репликации являются причиной эволюции (поставщиком исходного материала для отбора), но они не должны превышать определенный порог, за которым наступает либо гибель организма, либо значительное уменьшение его жизнеспособности. Евгений Кунин в книге «Логика случая» [21] указывает: «Центральный принцип эволюции может быть сформулирован следующим образом: репликация цифровых носителей информации неизбежно подвержена ошибкам, что влечет за собой эволюцию этих носителей путем естественного отбора... при условии, что уровень ошибок репликации ниже катастрофического порога, имеющего порядок величины от одной до десяти ошибок на геном за один цикл репликации. Назовем это обобщение принципом подверженной ошибкам репликации (ПОР). Этот принцип становится самоочевидным, как только мы осознаем существование и основной механизм репликации. Он был впервые описан математически в теории Манфреда Эйгена (Eigen, 1971), который также ввел понятие концепции порога ошибки...» [21].

## **5. Андрей Козлов и другие ученые: перенос идей Дарвина в теорию развития раковых (опухолевых) клеток**

В XX веке опухоли или опухолеподобные процессы нашли практически у всех многоклеточных организмов, в том числе у беспозвоночных. Выяснилось, что чем выше организация животных, тем чаще у них возникают опухоли. Например, у насекомых они встречаются чаще, чем у всех более низкоорганизованных беспозвоночных. У позвоночных – чаще, чем у низших хордовых (оболочников и ланцетников), а у костистых рыб чаще, чем у хрящевых. Опухоли могут быть вызваны облучением или патогенами (бактериями и вирусами), но значительную часть раковых опухолей составляют спонтанные новообразования генетической природы. Откуда берутся эти спонтанные новообразования? Почему медицинская наука (несмотря на многолетнее финансирование и множество проведенных исследований) не нашла эффективных средств против рака? Ученые установили, что основная трудность борьбы с раком – мутации, периодически происходящие в генетическом аппарате нормальных клеток. Если работающие в нашем организме системы репарации повреждений ДНК и РНК, устраняющие генетические ошибки, не «замечают» какие-то из этих повреждений, то мутации будут множиться, создавая риск появления бесконтрольно делящихся опухолевых клеток.

Представление о спонтанных мутациях как причине канцерогенеза привело к удивительной аналогии! Генетические мутации – фактор образования опухолевых клеток. Но те же генетические мутации (наследственные изменения) – поставщик материала для естественного отбора, описанного Ч.Дарвином, то есть фактор биологической эволюции. Следовательно, дарвиновская эволюция и канцерогенез имеют одни и те же причины. Это означает, что в теорию развития рака можно перенести понятия и принципы эволюционной концепции, сформулированные великим

английским натуралистом в середине XIX столетия. Примерно такие рассуждения, основанные на аналогии, привели российского биолога Андрея Петровича Козлова (род. 1950 г.) к мысли об эволюционной роли опухолей, о том, что они могли быть полигоном или резервуаром для экспрессии эволюционно новых или «спящих» генов. Можно не соглашаться с тем, что именно опухоли, возникающие в результате мутаций, были «мотором» эволюции, но сама идея А.П.Козлова о том, что опухолевые процессы аналогичны мутационному процессу, поставляющему материал для отбора, вполне справедлива. Она позволяет использовать дарвиновские понятия при исследовании и описании канцерогенеза, что, в конечном счете, может привести к разработке новых терапевтических стратегий в онкологии.

А.П.Козлов выделяет две книги, подтолкнувшие его в 1970-х гг. к осознанию эквивалентности между раковыми мутациями и мутациями, стимулирующими эволюцию видов. В статье «Опухоли, гены и эволюция» [22] он пишет: «В 1972 году, после окончания Ленинградского государственного университета, поступив в аспирантуру НИИ онкологии, я прочел «Руководство по общей онкологии», изданное под редакцией выдающегося ученого Н.Н.Петрова. Одна из глав этой книги была посвящена сравнительной онкологии. В университете, славящемся своей эволюционной школой, нам об этом не рассказывали» [22, с.18]. В той же статье автор рассказывает о второй книге, заставившей его осознать упомянутую аналогию: «Еще одной книгой, существенно повлиявшей на развитие моих представлений о возможной эволюционной роли опухолей, стала книга Сусуму Оно «Эволюция путем дупликации генов». Изложенные в ней представления о возникновении новых генов из избыточных копий предковых генов, ускользающих из-под контроля естественного отбора, до сих пор господствуют в теории молекулярной эволюции. А такими избыточными клеточными массами могут быть только опухоли» [22, с.20].

Аналогия между раковыми (онкогенными) мутациями и наследственными изменениями, стимулирующими дарвиновский эволюционный процесс, подчеркивается во многих работах А.П.Козлова. Так, в статье «Популяции организмов – опухоленосителей как переходные формы...» [23] он указывает: «Опухолевые процессы могут быть **аналогичны** мутационному процессу. Мутационный процесс, с одной стороны, приводит к «молекулярным болезням», а с другой – обеспечивает наследственную изменчивость, без которой невозможна эволюция. Опухоли, с одной стороны, приводят к болезням многоклеточности - ракам, а с другой – могут снабжать эволюционирующие многоклеточные организмы избыточными клеточными массами для экспрессии эволюционно новых генов» [23, с.508]. «Мутационный процесс, - аргументирует автор, - имеет две стороны. С одной стороны, он приводит к нарушениям в сбалансированных молекулярных механизмах и работает как генератор разнообразных молекулярных болезней. С другой стороны, он поставляет новый генетический материал для отбора и работает как мотор эволюции. **Аналогичный** парадокс может быть справедлив для опухолей. Опухоли можно представить как мутационный процесс на многоклеточном уровне» [23, с.511].

В середине 2000-х годов в англоязычной литературе появились публикации, показывающие, что гены, функционирование которых может приводить к образованию опухолей, испытывают положительный отбор. Напомним, что положительный отбор – это процесс, приводящий к увеличению числа определенных генов, тогда как отрицательный отбор, напротив, удаляет (выбраковывает) из популяции те или иные гены. Впервые о позитивном отборе генов, активность которых в качестве побочного эффекта повышает риск рака, сообщили канадские исследователи Бернارد Креспи и Кайл Саммерс в работе «Положительный отбор в эволюции рака» [24]. Эта работа сразу же была процитирована в публикации ученых из Института Уистара (Филадельфия, США) под названием «Рак как эволюционный и

экологический процесс» [25]. Данная публикация явилась важным стимулом для исследования эволюционных особенностей (параметров) рака и на данный момент процитирована 1879 раз.

Авторы этой работы, в частности, пишут: «Новообразования – это микрокосмы эволюции. Внутри новообразования мозаика мутантных клеток конкурирует за пространство и ресурсы, уклоняется от нападения со стороны иммунной системы и даже может сотрудничать, чтобы рассеяться и заселить новые органы. Эволюция неопластических клеток объясняет как то, почему мы заболеваем раком, так и то, почему его так трудно вылечить. Инструменты **эволюционной биологии** и экологии позволяют по-новому взглянуть на неопластическую прогрессию и клинический контроль над раком» [25, с.924].

А в 2012 г. появилась работа Чарльза Свэнтон (Charles Swanton) и его коллег из Лондонского научно-исследовательского института рака, где было показано, что раковая опухоль, как правило, является гетерогенной (мозаичной). Она содержит множество клонов со своим набором мутаций, обеспечивающих агрессивное деление клеток и устойчивость к противоопухолевым препаратам. Причем в этих клонах постоянно появляются новые мутации, в результате чего раковые клетки эволюционируют непредсказуемым образом. Это объясняет, почему рак, уничтоженный на одной из стадий лечения больного, может возвращаться позже. Как подчеркивает Чарльз Свэнтон в статье [26], генетическая мозаичность (прогрессирующее разнообразие мутаций) опухоли способствует ее успешной адаптации к условиям применения лечебных средств «посредством дарвиновского отбора» [26, с.883].

Выше мы отмечали, что Ч.Дарвин объяснил разнообразие биологических видов процессом ответвления (отпочкования) отдельных видов от общего «ствола жизни». В его книге «Происхождение видов» (1859) имеется рисунок, изображающий схему этого ответвления (схему дивергенции). Впервые такой рисунок появился в одной из записных книжек Ч.Дарвина за 1837 г. Когда

Чарльз Свэнтон детально изучал ДНК клонов одной и той же опухоли, он составил генеалогическое древо этих клонов (схему их дивергенции). Завершив работу над схемой, он с удивлением обнаружил ее сходство (аналогию) с рисунком Ч.Дарвина. Эта аналогия явилась одним из отправных пунктов для формулировки мысли о том, что клоны внутри опухоли эволюционируют и подвергаются отбору точно так же, как организмы в дарвиновской теории. В настоящее время статья Ч.Свэнтона и его коллег, опубликованная в издании «The New England Journal of Medicine» (2012), процитирована 7643 раз.

Кэт Арни в книге «Мятежная клетка» [27] пишет о том, как Чарльз Свэнтон заметил подобие между схемой генеалогического древа постоянно мутирующих клонов опухоли и схемой дивергенции видов Чарльза Дарвина: «Изящно выписанные образцы генеалогического древа, представленные в итоговой статье в The New England Journal of Medicine, выглядят до боли знакомыми: они чрезвычайно напоминают аналогичные рисунки, выполненные почти двумя столетиями ранее другим ученым. Причем в силу какой-то поразительной научной синхронистичности того исследователя тоже звали Чарльз» [27, с.186]. Автор продолжает: «В той же мере, в какой выводы Чарльза Дарвина о происхождении видов были неопровержимо неизбежными: организмы адаптируются и меняются, реагируя на селективное давление, результаты Чарльза Свэнтона говорят о том, что раковые образования в живом теле ведут себя точно так же. Многочисленную популяцию генетически испорченных и быстро воспроизводящихся раковых клеток можно уподобить микрокосму эволюции, где каждый сегмент клеток проживает самобытную историю в духе детских книг – игр «Выбери свое приключение» [27, с.187-188].

В начале 2015 г. онколог-генетик Берт Фогельштейн из Университета Джона Хопкинса (США) опубликовал статью [28], в которой показал, что две трети случаев рака можно объяснить «неудачным стечением обстоятельств» -

случайными мутациями, накапливающимися в здоровых стволовых клетках. Иными словами, рак появляется по большей части случайно – спонтанные мутации приводят к нему намного чаще, чем факторы окружающей среды и наследственная предрасположенность. В частности, Б.Фогельштейн и его соавтор К.Томазетти в указанной статье [28] отмечают: «...Случайные ошибки, возникающие при репликации ДНК в нормальных стволовых клетках, являются основным фактором, способствующим развитию рака. Примечательно, что этот компонент «невезения» объясняет гораздо большее количество случаев рака, чем наследственные факторы и факторы окружающей среды» [28, с.78].

Как пишет Дэвид Агус в книге «Завтра начинается сегодня» [29], исследование Б.Фогельштейна подверглось критике: «Международное агентство исследований рака, подразделение Всемирной организации здравоохранения, опубликовало пресс-релиз, в котором сообщалось, что оно «совершенно не согласно» с результатами исследования» [29]. Однако фундаментальный принцип теории эволюции Ч.Дарвина утверждает, что наследственные изменения (вариации), поставляющие материал для отбора, являются случайными. С учетом аналогии между дарвиновской эволюцией и канцерогенезом Б.Фогельштейн все-таки прав.

## **6. Джон Холланд: перенос идей Дарвина в информатику (область компьютерных наук)**

Наблюдая за орхидеями в течение длительного времени, Ч.Дарвин (1862, 1866) обратил внимание на то, что перекрестно опыленные растения более жизнеспособны, чем самоопыленные. Теперь мы знаем, что рекомбинация (обмен генетическим материалом между разными организмами) играет важную роль в обеспечении этой жизнеспособности. Наряду с наследственными изменениями (мутациями) механизм рекомбинации – перетасовки генов - является мощным генератором фенотипического разнообразия, того самого, с которым оперирует естественный отбор [30].

Компьютерным наукам и, можно сказать, теории искусственного интеллекта, очень повезло, что в начале 1960-х годов один из сотрудников Мичиганского университета (США) задался целью разработать компьютерную программу, основанную на дарвиновских принципах мутаций и естественного отбора. Но самое главное – этот сотрудник догадался включить в указанную программу не только мутации и отбор, но и механизм рекомбинации, положительные эффекты которого обнаружил Ч.Дарвин, изучая опыление орхидей. Речь идет об американском ученом Джоне Холланде (1929-2015), который стал основателем генетических алгоритмов – эволюционных методов решения задач оптимизации и поиска, составивших арсенал методов искусственного интеллекта.

Заимствуя идеи эволюционной теории Ч.Дарвина, Джон Холланд изобрел стратегию поиска решения определенной задачи, состоящую из ряда шагов. Схематично эту стратегию можно описать следующим образом. Шаг первый – создаем случайную начальную популяцию, шаг второй – вычисляем приспособленность каждой особи популяции. Шаг третий – производя отбор особей в соответствии с их приспособленностью, и применяя генетические операторы мутаций и скрещивания к отобранным особям для получения



потомства, формируем популяцию следующего поколения. Шаг четвертый – повторяем предыдущие шаги (2 и 3) до тех пор, пока не выполнится некоторое условие окончания эволюционного поиска (прекращается рост максимальной приспособленности в популяции, число поколений достигает заданного предела). Возможны различные варианты генетического алгоритма, которые отличаются по схемам отбора и т.д. [31, с.58].

Автор работы [31] перечисляет следующие достоинства известных реализаций генетического алгоритма: 1) широкая область применения, 2) возможность проблемно-ориентированного кодирования решений, 3) пригодность для поиска в сложном пространстве решений большой размерности, 4) отсутствие ограничений на вид целевой функции (функции приспособленности). Сюда же относится ясность схемы построения генетических алгоритмов и возможность их объединения с искусственными нейронными сетями (ИНС) и нечеткой логикой.

То обстоятельство, что генетические алгоритмы Джона Холланда были результатом переноса дарвиновских идей в информатику, - вполне очевидный факт. В частности, в работе [31] отмечается: «Идея использования принципов биологической эволюции для решения оптимизационных задач возникла в различных модификациях у ряда авторов. Первые публикации на эту тему появились в 1960-х гг. А в 1975 г. вышла основополагающая книга Холланда «Адаптация в естественных и искусственных системах», в которой и был предложен собственно первый генетический алгоритм» [31, с.57].

Л.Н.Королев в статье «Эволюционные вычисления...» [32] констатирует: «В генетических алгоритмах используется терминология, заимствованная из эволюционной теории Дарвина, которая переключалась в чисто математические исследования, не имеющие ничего общего с биологией» [32, с.126]. Автор продолжает: «...Живая природа придумала мутацию – случайное изменение какого-то генома, приводящее к изменчивости отдельной особи либо в лучшую, либо в худшую сторону. В соответствии с этим механизмом

изменчивости в **генетических алгоритмах** используют операцию мутации, которая обеспечивает, как правило, выход из заикливания около «хороших» геномов. Более сложную операцию скрещивания можно интерпретировать как попытку сформировать новую особь смешением признаков двух других особей (родителей)» [32, с.127].

Сам Дж.Холланд в статье «Генетические алгоритмы» [33] откровенно рассказывает о дарвиновских механизмах эволюции, которые он использовал при создании компьютерных программ: «Естественный отбор устраняет одно из главных затруднений при создании программ – необходимость предусматривать заранее все особенности решаемой задачи и действия, которые должна предпринимать программа, когда она сталкивается с этими особенностями. Поставив себе на службу механизм эволюции, исследователи смогут «выводить» программы, способные решать такие задачи, структуру которых ни один человек не может полностью осознать. В действительности эти так называемые генетические алгоритмы уже продемонстрировали способность находить новаторские решения при конструировании таких сложных систем, как реактивные двигатели» [33, с.32].

Вспоминая о событиях 1960-х годов, Дж.Холланд пишет о том, как идея рекомбинации (перетасовки генов) «перекочевала» в методы компьютерного программирования: «В те годы я занимался математическим анализом адаптации и пришел к убеждению, что рекомбинация групп генов при спаривании является важнейшим фактором эволюции. К середине 60-х годов я разработал метод программирования – генетический алгоритм – который хорошо подходил для эволюционного процесса, обусловленного как спариванием, так и мутациями. На протяжении следующего десятилетия я пытался расширить сферу применения генетических алгоритмов путем построения генетического кода, который мог бы представлять структуру любой компьютерной программы» [33, с.32].

Примечательно, что в статье Дж.Холланда [33] содержится фотография пчелиной орхидеи, исследованной Ч.Дарвином, с надписью: «Цветок, напоминающий пчелу-самку, опыляется пчелами-самцами, пытающимися спариваться с ним. Механизмы, сходные с естественным отбором, по утверждению автора, могут порождать компьютерные программы (так называемые генетические алгоритмы), способные решать такие сложные задачи, как конструирование турбины реактивного двигателя или сетей связи» [33, с.33].

Джордж Люгер в книге «Искусственный интеллект» [34] сообщает, что с помощью генетических алгоритмов машине удалось открыть третий закон Кеплера. Согласно данному закону планетных движений, квадраты периодов обращений планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от Солнца, то есть как кубы больших полуосей орбит планет. Данный закон был открыт немецким астрономом Иоганном Кеплером (1571-1630) при обобщении набора данных о движении планет, включавших значения периодов их обращений вокруг нашего светила и размеров главных полуосей орбит. Когда машина, оснащенная генетическим алгоритмом, получила этот набор данных, она смогла найти математическую формулу, выражающую указанный закон Кеплера [34, с.504-505].

## **7. Р.Нельсон и С.Уинтер: перенос идей Дарвина в экономическую науку**

В свое время американский экономист Торстейн Веблен (1857-1929) обратил внимание на то, что экономическая наука его времени не впитала в себя достижений эволюционной теории и, следовательно, отстает в своем развитии от других научных дисциплин. Причину этого он видел в том, что в экономической науке не сформулирована теоретическая концепция, позволяющая описывать и обобщать эмпирические факты так же, как это делается в науках биологического цикла. В статье, впервые опубликованной в 1898 г., Т.Веблен говорит [35]: «Наука может по праву гордиться достижениями последних поколений экономистов-классиков. Однако и их работы не вполне удовлетворяют требованиям эволюционной науки, причем не потому, что эти ученые не смогли предложить теорию процесса или причинно-следственных связей, лежащих в основе развития, а потому, что они сформулировали основы своей теории в понятиях, чуждых эволюционному образу мышления» [35, с.13]. «Экономика, - поясняет автор, - пока не встала на исходные позиции и точку зрения, необходимые эволюционной науке. Экономисты не располагали соответствующими материалами, и ничего, что могло бы подтолкнуть развитие событий в таком направлении, не произошло» [35, с.29].

В 1982 г. американские ученые Ричард Нельсон и Сидни Уинтер предложили экономическую теорию, которая исправляла ситуацию, проанализированную Т.Вебленом. Р.Нельсон и С.Уинтер рассмотрели «рутины» - рутинные способы действий, характерные для той или иной организации (фирмы). Рутинны подобны генам. Генетическая информация, содержащаяся в хромосомах, сохраняется в течение длительного времени, пока внезапные и непредвиденные мутации не внесут изменений в исходный код. Аналогично, рутинные (привычные, стандартные) способы производства

поддерживаются, пока не появятся новые технологии, отдельные части которых заявляют о своем рождении также неожиданно. В концепции Р.Нельсона и С.Уинтера отмечается, что фирмы, конкурирующие друг с другом за финансовый успех, стимулируют экономический рост, который представляет собой эволюционный процесс, имеющий дарвиновский характер. Изменения рутин подобны биологическим вариациям, явления гибели одних фирм и появления других обусловлены отбором, эквивалентным естественному отбору Ч.Дарвина.

Алекс Месуди в книге «Культурная эволюция» [36] пишет о формировании эволюционной экономики: «Формальная эволюционная теория экономики появилась лишь в 1982 году – вышла книга Ричарда Нельсона и Сидни Уинтера «Эволюционная теория экономических изменений». В этой книге Нельсон и Уинтер изложили свое видение серьезных недостатков общепринятой экономической теории и ее моделей, после чего представили эволюционную теорию экономических изменений, устраняющую эти недостатки» [36, с.297]. «Эволюционная экономика, - поясняет автор, - занимается моделированием экономических изменений как **дарвиновского процесса**, при котором фирмы проходят отбор на рынке, а поведенческие шаблоны передаются от индивида к индивиду внутри компаний» [36, с.296].

Г.Стикс в статье «Наука о пузырях и крахах» [37] напоминает, что экономические рассуждения Томаса Мальтуса подсказали Ч.Дарвину идею борьбы за существование, и сегодня применение механизма естественного отбора в экономике – неизбежный процесс взаимного обмена идеями между биологией и экономической наукой. «...Введение идеи **дарвиновского** естественного отбора в модели экономического поведения, - говорит Г.Стикс, - позволит получить полезные представления о том, как работают рынки, и давать более точные прогнозы того, как поведут себя участники рынка, будь то отдельные люди или организации. Подобные идеи приходили в голову экономистам и раньше. Так, экономист Торстейн Веблен (Thorstein Veblen)

еще в 1898 г. полагал, что экономика должна быть эволюционистской наукой. А Томас Роберт Мальтус своими размышлениями о «борьбе за существование» оказал огромное влияние собственно на Дарвина. Как теория естественного отбора постулирует, что некоторые организмы наиболее способны к выживанию в определенной экологической нише, так гипотеза адаптивных рынков рассматривает различных игроков на рынке, от банков до паевых инвестиционных фондов, как «виды», конкурирующие за финансовый успех» [37, с.44-45].

## **8. Дональд Кэмпбелл: перенос идей Дарвина в теорию познания (эпистемологию)**

Дональд Кэмпбелл (1916-1996) – американский психолог и социолог, внесший важный вклад в теорию развития науки. Анализируя ключевые особенности научного познания (творчества) и сопоставляя их с механизмами биологической эволюции, он пришел к выводу, что между прогрессом науки и эволюцией живой природы много общего. Настолько много, что развитие научного знания можно рассматривать как продолжение последовательного (длящегося миллионы лет) процесса, благодаря которому увеличивается степень адаптации организмов, возрастает сложность и разнообразие популяций и видов. Свои представления о природе научного поиска Д.Кэмпбелл изложил в статье под названием «Эволюционная эпистемология», впервые опубликованной в 1974 г.

Живые существа являются носителями информации (генетической, хранимой в хромосомах, иммунологической, содержащейся в сетях иммунных клеток, нейронной, хранимой структурами мозга). Развитие цивилизации и науки привело к тому, что информация, важная для жизнедеятельности человека, стала храниться в текстах (на различных носителях: от глиняных табличек и папирусных свертков до современных книг). Память ненадежна и

способна забывать однажды запечатленные сведения, тогда как книжные, журнальные и иные тексты радикально увеличивают объем информации, которую мы можем долго хранить для дальнейшего использования. Другими словами, миллионы текстов, созданных человеком за десятки тысяч лет, - продолжение того, как природа хранит информацию в генах, иммунных клетках и нейронах животных.

Живая природа развивается методом проб и ошибок. На протяжении миллионов лет она создает огромное число организмов, которых проверяет (испытывает) на степень приспособленности к внешним условиям. Она систематически «перелопачивает» колоссальную массу имеющихся вариантов и возможностей решения (эволюционного решения). Именно такое «блуждание по дебрям возможностей», полномасштабный поиск и анализ всех вариантов периодически приводит ее к «изобретению» новых видов и разновидностей.

Но в науке человек поступает точно так же! Ученые в своих лабораториях, используя тот же метод проб и ошибок, ставят эксперимент за экспериментом, пока не обнаружат нечто новое. Кроме того, различные гипотезы, выдвигаемые для объяснения результатов экспериментов, также проходят стадию проб и ошибок. Верные идеи сохраняются, неверные – элиминируются. То есть скрининг на основе метода проб и ошибок используется на двух уровнях исследований: 1) на уровне постановки экспериментов и 2) на уровне генерации гипотез для объяснения определенных научных результатов. Обратив внимание на аналогию между широкомасштабным поиском, осуществляемым живой природой, и процессом проб и ошибок, который характеризует экспериментальную и теоретическую деятельность, Д.Кэмпбелл стал убеждаться в справедливости дарвиновского взгляда на науку. В статье «Эволюционная эпистемология» [38] он пишет о пробах и ошибках, сопровождающих работу ученых-экспериментаторов и теоретиков: «На одном конце шкалы – экспериментатор, исследующий

вслепую, который в рамках возможностей данного лабораторного оборудования пробует варьировать каждый параметр и перебирает все сочетания, какие может придумать, не обращая внимания на теорию» [38, с.118]. Автор продолжает: «На противоположном этому слепому лабораторному исследованию конце шкалы расположена точка зрения на естественный отбор научных теорий, когда в режиме проб и ошибок математические и логические модели соревнуются друг с другом в адекватности решения эмпирических головоломок...» [38, с.118].

Понимая, что механизмом образования новых видов и разновидностей являются случайные наследственные изменения (вариации), повышающие жизнеспособность организмов, Д.Кэмпбелл по аналогии приходит к заключению, что одним из источников прогресса науки являются случайные (непреднамеренные, незапланированные) научные открытия. Такие находки часто делаются по принципу «серендипити»: искал одно – нашел другое. О существовании случайных открытий известно давно, и Д.Кэмпбелл ссылается в данном случае на Эрнста Маха (1838-1916), австрийского физика и науковеда, изучавшего такие открытия. Д.Кэмпбелл [38] говорит: «Когда в 1895 г. Э.Мах был приглашен вернуться в Венский университет, чтобы вступить в только что основанную должность профессора по специальности «История и теория индуктивных наук», для своего первого торжественного выступления он выбрал именно эту тему: «На открытие новых, не известных до сих пор областей фактов могут натолкнуть лишь случайные обстоятельства...» [38, с.109].

Известно, что в дикой природе главное требование, предъявляемое к животным, - их соответствие постоянно меняющимся условиям внешней среды, их способность адаптироваться и выживать в этой среде (спасаться от крупных хищников, терпеть нехватку питательных ресурсов). То есть внешняя среда отбирает особи, которые умеют существовать в таких условиях и оставлять потомство. А чему должны соответствовать идеи и гипотезы,



конкурирующие друг с другом по степени плодотворности? Д.Кэмпбелл отмечает, что они должны соответствовать физической реальности (истине), а поскольку истина устанавливается с помощью экспериментов, гипотезы отбираются экспериментальными данными. Эмпирические данные – это фильтр, отбирающий одни идеи и бракующий другие. Как указывает Д.Кэмпбелл, «экспериментальные данные создают экологии или ниши, к которым теории адаптируются, то есть которые производят отбор теорий» [38, с.119].

Представления Д.Кэмпбелла можно резюмировать его высказыванием, которым, по сути дела, он начинает свою статью «Эволюционная эпистемология» [38]: «...Эволюция – даже в ее биологических аспектах – есть процесс познания, и парадигма **естественного отбора** как модель прироста такого знания может быть распространена и на другие виды эпистемической (познавательной) деятельности, такие, как обучение, мышление и наука. Господствующие философские традиции пренебрегали такой эпистемологией» [38, с.92]. «Метод познания, - подчеркивает автор, - хорошо знакомая нам дарвиновская процедура «проб и ошибок» [38, с.124].

Здесь уместно привести точку зрения американского физика Стивена Вайнберга, создателя теории, объединившей электромагнетизм и слабые ядерные взаимодействия и получившего в 1979 г. за эту теорию Нобелевскую премию. В книге «Открытие субатомных частиц» [39] С.Вайнберг относит открытие радиоактивности, сделанное Анри Беккерелем в 1896 г., к категории случайных, но утверждает, что таких непредвиденных находок в истории науки мало. Ученый пишет: «В истории науки число научных открытий, сделанных случайно, не так велико, как многие думают. Однако не вызывает сомнений случайный характер одного из величайших открытий, сделанных физиками двадцатого столетия, - открытия радиоактивности» [39, с.152].

Мы не согласны с тем, что случайные открытия – редкость в научном исследовании. На самом деле в эмпирической (экспериментальной) науке их

достаточно много, в чем легко убедиться при анализе материалов, освещающих генезис (историю) важных экспериментальных результатов. Ниже мы приводим таблицу, в которой представлены открытия в области физики, сделанные непреднамеренно (случайно, по принципу «серендипити») и удостоенные Нобелевской премии.

№	Содержание научного открытия	Автор открытия
1.	Рентгеновские лучи	Вильгельм Рентген (Нобелевская премия за 1901 г.)
2.	Радиоактивность	Анри Беккерель (Нобелевская премия за 1903 г.)
3.	Сверхпроводимость	Хейке Камерлинг-Оннес (Нобелевская премия за 1913 г.)
4.	Позитрон (элементарная частица)	Карл Андерсон (Нобелевская премия за 1936 г.)
5.	Дифракция электронов	Клинтон Дэвиссон (Нобелевская премия за 1937 г.)
6.	Эффект замедления нейтронов	Энрико Ферми (Нобелевская премия за 1938 г.)
7.	Транзисторный эффект	Джон Бардин, Уолтер Браттейн (Нобелевская премия за 1956 г.)
8.	Излучение Вавилова-Черенкова	Павел Черенков (Нобелевская премия за 1958 г.)
9.	Нейтронные звезды	Энтони Хьюиш (Нобелевская премия за 1974 г.)
10.	Реликтовое космическое излучение	А.Пензиас, Р.Вильсон (Нобелевская премия за 1978 г.)
11.	Нарушение комбинированной симметрии, предсказанной Л.Д.Ландау	Джеймс Кронин, Вал Фитч (Нобелевская премия за 1980 г.)
12.	Высокотемпературная сверхпроводимость	И.Г.Беднорц, К.А.Мюллер (Нобелевская премия за 1987 г.)
13.	Двойной пульсар (косвенное доказательство существования гравитационных волн)	Дж.Тейлор, Р.Халс (Нобелевская премия за 1993 г.)
14.	Материал для лазеров на гетероструктурах	Жорес Алферов (Нобелевская премия за 2000 г.)
15.	Космические источники рентгеновского излучения	Рикардо Джаккони (Нобелевская премия за 2002 г.)

**Примечание:** подробное описание обстоятельств, которые непреднамеренным образом (случайно) привели к указанным открытиям, можно найти в книге [40].

## 9. Эволюционная эпистемология и 18-я проблема С.Смейла

В 1997 г. американский математик Стивен Смейл (род. 1930 г.) выступил в Филдсовском институте (Торонто) с лекцией «Математические проблемы следующего столетия» [41]. В данной лекции он представил свой список нерешенных математических проблем. Последняя, восемнадцатая, проблема в этом списке звучит следующим образом: каковы пределы интеллекта – как искусственного, так и человека? Разумеется, речь идет о пределах алгоритмизации (формализации) интеллекта. Этими пределами должны быть факторы научного творчества, которые препятствуют превращению творческого поиска в «механический процесс» манипулирования строгими (формальными, детерминированными) алгоритмами. Британский математик и физик, недавно получивший Нобелевскую премию по физике, Р.Пенроуз [42] описал два указанных фактора: теорему Геделя о неполноте и теорему Тьюринга о неразрешимости проблемы остановки.

В чем состоят другие факторы, которые объективно препятствуют формализации научной деятельности и научного мышления? Эволюционная эпистемология, основанная на дарвиновских принципах, позволяет четко ответить на этот вопрос: этими факторами являются метод проб и ошибок (неизбежно включающий в себя элементы неопределенности, стохастичности) и случайные научные открытия.

Возьмем, например, открытие радиоактивности, сделанное Анри Беккерелем (1896), в случайности которого не сомневается С.Вайнберг и другие исследователи. Чтобы какой-либо строгий (детерминированный) алгоритм мог обеспечить открытие явления радиоактивности, он должен заранее содержать в себе информацию о том, при каких конкретных экспериментальных условиях можно натолкнуться на явление, никем еще не описанное. Если бы подобные алгоритмы, содержащие всю нужную нам информацию, реально существовали, никто из ученых не занимался бы

научным поиском. Достаточно было бы воспользоваться готовыми инструкциями и получить ответы на все вопросы. В этом случае исчезла бы необходимость в полномасштабном анализе всех возможных вариантов, в применении метода проб и ошибок. Абсурдность такой ситуации вполне очевидна. Случайные открытия (как и метод проб и ошибок) – постоянные спутники научной деятельности. Они исключают возможность полной формализации научного творчества, превращения этого творчества в «механический процесс» оперирования готовыми алгоритмами.

Создавая теорию эволюции, Ч.Дарвин установил важную роль случайных наследственных изменений в эволюционном процессе. Эти изменения, поддержанные естественным отбором, создают новые формы адаптации и новые виды организмов. Устраните случайные вариации – и вы остановите эволюцию. Подобно этому, непреднамеренные (непредвиденные) научные открытия – один из источников прогресса науки. И одновременно (наряду с методом проб и ошибок) эти открытия – аспекты научного поиска, дающие решение 18-й проблемы С.Смейла.

Великий натуралист Чарльз Дарвин, получивший первые «намёки» на непостоянство видов во время своего пятилетнего кругосветного путешествия на корабле «Бигль», разработал эволюционную концепцию, которая удивительным образом и сегодня помогает нам решать важные научные проблемы.

## Литература:

1. Ирвин У. Обезьяны, ангелы и викторианцы. Дарвин, Гексли и эволюция. – М.: «Молодая гвардия», 1973. – 464 г.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: «КомКнига», 2005. – 296 с.
3. Стрекольщикова И.В. Натуралистическая концепция языка в языкознании XIX века: общее и специфическое // Диссертация на соискание ученой степени доктора филологических наук. – Мытищи: МГОУ, 2020. – 607 с.
4. Амирова Т.А., Ольховиков Б.А., Рождественский Ю.В. История языкознания. – М.: «Академия», 2005. – 672 с.
5. Абелев Г.И. История клонально-селекционной теории // Природа. – 2002. - № 11. – С.75-80.
6. Смит К. Интерлейкин-2 // В мире науки. – 1990. – № 5. – С.16-24.
7. Лян Н.А. Ерне (Jerne) Нильс // Аллергология и иммунология в педиатрии. – 2013. - № 1 (32). – С.5-7.
8. Медавар П., Медавар Дж. Наука о живом. – М.: «Мир», 1983. – 207 с.
9. Николаева Е.И. Психофизиология. Психологическая физиология с основами физиологической психологии. – М.: «Логос», 2003. – 544 с.
10. Николлс Дж., Мартин Р., Валлас Б., Фукс П. От нейрона к мозгу. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 672 с.
11. Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания // Журнал высшей нервной деятельности. – 2021. – Том 71. - № 1. – С.39-71.
12. Баарс Б., Гейдж Н. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки. Том 1. – М.: «Бином. Лаборатория знаний», 2014. – 552 с.
13. Эделмен Д., Маунткасл В. Разумный мозг. – М.: «Мир», 1981. – 135 с.
14. Лауреаты Нобелевской премии. Энциклопедия. Том 2. – М.: «Прогресс», 1992. – 861 с.

15. Хакен Г., Плат П., Эбелинг В., Романовский Ю. Об истории синергетики. Общие принципы самоорганизации в природе и в обществе. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 428 с.
16. Волькенштейн М.В., Чернавский Д.С. Предисловие редакторов перевода // Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. – М.: «Мир», 1982. – С.5-7.
17. Волькенштейн М.В. Предисловие к русскому изданию // Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. – М.: «Мир», 1973. - С.5-9.
18. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. – М.: «Мир», 1973. – 214 с.
19. Эйген М. Молекулярная самоорганизация и ранние стадии эволюции // Успехи физических наук. – 1973. – Том 109. - № 3. – С.545-589.
20. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. – М.: «Мир», 1982. – 272 с.
21. Кунин Е. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. – М.: «Центрполиграф», 2014. – 527 с.
22. Козлов А.П. Опухоли, гены и эволюция // Химия и жизнь. – 2009. - № 8. – С.18-22.
23. Козлов А.П. Популяции организмов – опухоленосителей как переходные формы между видами организмов, стоящих на различных ступенях прогрессивной эволюции // сборник «Чарльз Дарвин и современная биология». Ответственный редактор Э.И.Колчинский. - СПб., «Нестор-История», 2010. - С.508-519.
24. Crespi B.J., Summers K. Positive selection in the evolution of cancer // Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society. – 2006. - Vol.81 (3). - P.407-424.
25. Merlo L.M.F., Pepper J.W., Reid B.J., Maley C.C. Cancer as an evolutionary and ecological process // Nature Reviews Cancer. – 2006. – Vol.6. – P.924-935.

26. Gerlinger M., Rowan A., Horswell S. [...] Swanton Ch. Intratumor heterogeneity and branched evolution revealed by multiregion sequencing // The New England Journal of Medicine. – 2012. – Vol.366 (10). – P.883-892.
27. Арни К. Мятежная клетка: рак, эволюция и новая наука о жизни. - М.: «Альпина нон-фикшн», 2022. – 426 с.
28. Tomasetti C., Vogelstein B. Variation in cancer risk among tissues can be explained by the number of stem cell divisions // Science. – 2015. – Vol.347. – № 6217. – P.78-81.
29. Агус Д. Завтра начинается сегодня. Как воспользоваться достижениями anti-age медицины. – М.: «Эксмо», 2017. – 336 с.
30. Бородин П.М. Генетическая рекомбинация в свете эволюции // Природа. – 2007. - № 1. – С.14-22.
31. Подлазова А.В. Генетические алгоритмы на примерах решения задач раскрытия // Проблемы управления. – 2008. - № 2. – С.57-63.
32. Королев Л.Н. Эволюционные вычисления, нейросети, генетические алгоритмы – формальные постановки задач // Фундаментальная и прикладная математика. – 2009. – Том 15. - № 3. – С.119-133.
33. Холланд Дж. Генетические алгоритмы // В мире науки. – 1992. - № 9-10. – С.32-40.
34. Люгер Дж. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: изд-во «Вильямс», 2003. – 864 с.
35. Веблен Т. Почему экономическая наука не является эволюционной дисциплиной? // сборник «Истоки из опыта изучения экономики как структуры и процесса». – Главный редактор Я.И.Кузминов. – М.: ГУ Высшая школа экономики, 2007. - С.10-32.
36. Месуди А. Культурная эволюция. Как теория Дарвина может пролить свет на человеческую культуру и объединить социальные науки. – М.: изд-во «Дело», 2019. – 384 с.

37. Стикс Г. Наука о пузырях и крахах // В мире науки. – 2009. - № 10. – С.38-45.
38. Кэмпбелл Д. Эволюционная эпистемология // сборник «Эволюционная эпистемология и логика социальных наук». Под ред. В.Н.Садовского. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. - С.92-146.
39. Вайнберг С. Открытие субатомных частиц. – М.: «Мир», 1986. – 285 с.
40. Новиков Н.Б. 18-я проблема С.Смейла в зеркале случайных открытий. – М.: Институт психологии, 2017. – 1390 с.
41. Смейл С. Математические проблемы следующего столетия // сборник «Современные проблемы хаоса и нелинейности». – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – С.280-303.
42. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 384 с.