

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОГНИТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ – НА ПУТИ К ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В.Г. РЕДЬКО

В настоящей статье обсуждается новое научное направление – моделирование когнитивной эволюции, т.е. эволюции познавательных свойств биологических организмов. В процессе когнитивной эволюции сформировалось мышление человека, которое используется в научном познании. Рассматривается именно моделирование – исследование когнитивной эволюции путем построения и изучения математических и компьютерных моделей когнитивных способностей живых организмов разного эволюционного уровня.

Почему моделирование когнитивной эволюции интересно и важно?

Во-первых, потому что это направление исследований непосредственно связано со следующими фундаментальными научными проблемами:

- Как в процессе биологической эволюции произошло мышление человека?
- Почему мышление *человека*, в том числе, формальное логическое мышление, используемое в математических доказательствах, казалось бы, совершенно не связанное с внешним миром, применимо к познанию *реальной природы*?

Во-вторых, в настоящее время имеются серьезные научные заделы моделирования когнитивной эволюции, развиваемые в целом ряде направлений вычислительных наук. Например, это многочисленные работы по исследованию компьютерных моделей автономных агентов, отражающих свойства как живых, так и модельных организмов. Также очень интересные заделы развиваются и со стороны биологических исследований познавательных способностей животных.

В-третьих, моделирование когнитивной эволюции в будущем должно иметь широкие междисциплинарные связи:

- с основаниями науки, с основаниями математики,
- с теорией познания,
- с когнитивной наукой,
- с биологическими исследованиями,
- с научными основами искусственного интеллекта.

И, наконец, моделирование когнитивной эволюции нацелено на серьезное развитие научного миропонимания. Используя эволюционный подход, можно исследовать познавательные способности биологических организмов разного эволюционного уровня, анализировать, как и почему возникали эти способности, стремиться раскрыть причины их возникновения.

Резюмируя приведенные аргументы, можно сказать, что вполне возможно формирование новой научной дисциплины «Моделирование когнитивной эволюции».

1. Философские предпосылки исследований когнитивной эволюции

Рассмотрим подробнее проблему: Почему формальное логическое мышление *человека* применимо к познанию *реальной природы*? Рассмотрим, например, физику, наиболее фундаментальную из естественнонаучных дисциплин. Мощь физики связана с эффективным применением математики. Но математик строит свои теории совсем независимо от внешнего мира, используя свое мышление. Почему же результаты, получаемые математиком, применимы к реальной природе?

Близкие вопросы задавали давно. Иммануил Кант в знаменитой «Критике чистого разума» [1] провел исследование познавательных процессов в определенном

приближении – приближении фиксированного мышления взрослого человека. В результате этого анализа Кант пришел к выводу, что существует система категорий, концепций, логических правил и методов вывода, которые используются в познании природы. Эта система «чистого разума» имеет априорный характер – она существует в нашем сознании прежде всякого опыта – и является основой научного познания природы.

Естественно, что приближение фиксированного мышления человека наложило свой отпечаток: Кант утверждает – и в рамках этого приближения вполне логично – что так как «чистый разум» априорен, то наш рассудок в познавательном процессе предписывает свои законы природе [2]:

«...хотя вначале это звучит странно, но тем не менее верно, если я скажу: *рассудок не черпает свои законы (a priori) из природы, а предписывает их ей*».

Наверно, во времена Канта было разумно ограничиться приближением фиксированного мышления взрослого человека – все сразу не охватишь. Кроме того, не было еще теории Чарльза Дарвина. Но приближение фиксированного мышления взрослого человека накладывает свои ограничения – оно не позволяет ответить на вопросы: откуда же взялись наши познавательные способности, познаем ли мы истинные законы природы или наш рассудок «предписывает их ей». Естественно, что после появления теории Ч. Дарвина должна была произойти ревизия концепции априорного «чистого разума». И она произошла. Очень четко ее выразил один из основателей этологии (науки о поведении животных) лауреат Нобелевской премии Конрад Лоренц в статье «Кантовская концепция a priori в свете современной биологии» (1941 г.) [3]. Согласно К. Лоренцу кантовские априорные категории и другие формы «чистого разума» произошли в результате естественного отбора:

«...наши категории и формы восприятия, зафиксированные до индивидуального опыта, адаптированы к внешнему миру в точности по тем же причинам, по которым копыто лошади адаптировано к степному грунту еще до того, как лошадь рождается, а плавник рыбы – к воде до ее появления из икринки».

Составляющие «чистого разума» возникали постепенно в процессе эволюции, в результате многочисленных взаимодействий с внешним миром. В эволюционном контексте «чистый разум» совсем *не априорен*, а имеет явные эволюционные эмпирические корни.

По существу, И. Кант и К. Лоренц показали, что если не рассматривать эволюционное происхождение методов познания, то нет ответа на вопрос о применимости логического мышления человека к познанию природы.

Ближние вопросы анализировал Юджин Вигнер, лауреат Нобелевской премии по физике. В своей замечательной работе [8] он заострил внимание на проблеме «непостижимой эффективности математики в естественных науках». Ю. Вигнер также отмечал важность исследований в области биологии и психологии для более полного понимания наших представлений о природе. Это близко к подходу, развиваемому в настоящей статье. Исследование когнитивной эволюции как раз и направлено на изучение разума человека и животных в эволюционном контексте.

Как же конкретно вести моделирование когнитивной эволюции? Имеются ли заделы таких исследований? Да, такие заделы существуют, причем с двух сторон: 1) со стороны современных исследований вычислительных наук и 2) со стороны экспериментальных биологических исследований когнитивных способностей живых организмов.

2. Заделы моделирования когнитивной эволюции

В вычислительных науках сложилось несколько направлений исследований, которые связаны с моделированием происхождения мышления и которые могут быть использованы при таком моделировании. Отметим эти направления.

Адаптивное поведение. Направление исследований «Адаптивное поведение» развивается с начала 1990-х годов. Основной подход направления – конструирование и исследование искусственных «организмов» (в виде компьютерной программы или робота), способных приспосабливаться к внешней среде.

Искусственная жизнь. Основной мотивацией исследований искусственной жизни служит желание понять и промоделировать формальные принципы организации биологической жизни.

Когнитивные архитектуры. Под когнитивными архитектурами понимаются структура и принципы функционирования познающих систем, которые можно использовать в искусственном интеллекте. В последние годы большое внимание уделяется биологически инспирированным когнитивным архитектурам.

Близкие работы по научным основам искусственного интеллекта. Такие работы включают исследования когнитивных систем роботов, изучение нестандартных логик, исследование познавательных методов, используемых человеком.

Когнитивные автономные агенты. Это близкое к когнитивным архитектурам направление исследований, в котором большое внимание уделяется биологически обоснованным автономным агентам и моделям агентов, обладающих когнитивными и некоторыми интеллектуальными свойствами. Под автономным агентом обычно понимают модельный организм. Автономные агенты вполне могут рассматриваться как объединяющее понятие для указанных направлений.

Отметим, что в моделях автономных агентов часто используется феноменологический подход: предполагается, что существуют формальные правила поведения агентов, и эти правила не обязательно тесно связаны с конкретными микроскопическими нейронными или молекулярными структурами, которые есть у живых организмов. Скорее всего, такой феноменологический подход для исследований автономных агентов вполне имеет право на существование. В пользу этого тезиса приведем аналогию из физики. Есть термодинамика, и есть статистическая физика. Термодинамика описывает явления на феноменологическом уровне, статистическая физика характеризует те же явления на микроскопическом уровне. В физике термодинамическое и стат-физическое описания относительно независимы друг от друга, и вместе с тем, взаимодополнительны. По-видимому, и для описания живых организмов может быть аналогичное соотношение между феноменологическим (на уровне поведения) и микроскопическим (на уровне нейронов и молекул) подходами. При этом естественно ожидать, что для исследования свойств автономных агентов и моделей когнитивной эволюции феноменологический подход должен быть более эффективен, чем микроскопический (по крайней мере, на начальных этапах работ), так как очень трудно сформировать целостную картину поведения автономных агентов на основе анализа всего сложного многообразия функционирования нейронов, синапсов, молекул.

Биологические эксперименты по «элементарному мышлению животных». В последние годы проведены интересные биологические исследования, показывающие, что элементарные формы мышления присущи не только высшим животным, но и достаточно простым, например, насекомым (пчелам, муравьям), а также врановым птицам, которые способны самостоятельно создавать и целесообразно использовать «орудия труда». Подчеркивая, что изучаются биологические предшественники мышления человека, авторы этих исследований характеризуют такие познавательные способности, как «элементарное мышление животных» [5].

В качестве примера биологических экспериментальных исследований по когнитивным способностям животных отметим интересную работу по новокаледонским воронам [6]. Задание для ворон состояло из следующих частей. 1) Сначала надо было подтянуть к себе шнуром и освободить от шнура маленькую палочку, которая висела на шнуре. 2) Затем с помощью маленькой палочки достать из одного зарешеченного контейнера длинную палочку. 3) Наконец, с помощью длинной палочки надо было достать пищу из второго контейнера. Причем, без короткой палочки нельзя было достать длинную, а короткой палочкой нельзя было дотянуться до пищи во втором контейнере. То есть весь процесс добывания пищи должен был состоять из трех последовательных шагов, на которых надо было использовать три «инструмента»: шнур, маленькую палочку, длинную палочку.

Предварительно вороны тренировались в более простых условиях: они могли использовать часть или все эти инструменты по отдельности. Когда им нужно было выполнить полное задание из трех шагов, то те вороны, которые имели опыт использования всех трех инструментов по отдельности, выполняли задание с первого раза, а те, которые предварительно освоили инструменты частично, выполняли задание не всегда с первого раза, но тоже быстро научились с ним справляться. При этом, как показал эксперимент, вороны часто некоторое время тратили на освоение ситуации без конкретных действий, только облетая экспериментальную установку, как бы продумывая решение задания.

Таким образом, вороны научились продумывать план решения новой задачи, мысленно связывая в плане ранее освоенный опыт.

Подробнее заделы моделирования когнитивной эволюции представлены в книге [7].

3. Контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции

Каковы же эволюционные уровни, на которых стоит остановиться при моделировании когнитивной эволюции? Как от простых форм адаптивного поведения идти к логическим формам, используемым в научном познании? Отталкиваясь от работ в отмеченных заделах, предложим контуры программы будущих исследований, нацеленных на моделирование когнитивной эволюции. При этом постараемся выделить наиболее существенные этапы, ведущие к логическому мышлению.

А. Моделирование адаптивного поведения автономных агентов с несколькими естественными потребностями: питания, размножения, безопасности. Это могло бы быть моделирование достаточно естественного и полноценного поведения простых модельных организмов.

Б. Исследование перехода от физического уровня обработки информации в нервной системе животных к уровню обобщенных образов. Такой переход можно рассматривать, как появление в «сознании» животного свойства «понятие». Обобщенные образы можно представить, как мысленные аналоги наших слов, не произносимые животными, но реально используемые ими. Например, у собаки явно есть понятия «хозяин», «свой», «чужой», «пища». Использование понятий приводит к существенному сокращению и требуемой памяти, и времени обработки информации, поэтому оно должно быть эволюционно выгодным.

В. Исследование процессов формирования причинных связей в памяти животных. По-видимому, запоминание причинно-следственных связей между событиями во внешней среде и адекватное использование этих связей в поведении – одно из ключевых свойств активного познания животным закономерностей внешнего мира. Такая связь формируется, например, при выработке условного рефлекса: животное запоминает связь между условным стимулом (УС) и следующим за ним безусловным стимулом (БС), что позволяет ему предвидеть события в окружающем мире и адекватно использовать это предвидение.

Естественный следующий шаг – переход от отдельных причинных связей к логическим выводам на основе уже сформировавшихся знаний.

Г. Исследование процессов формирования логических выводов в «сознании» животных. Фактически, уже на базе классического условного рефлекса животные способны делать «логический вывод» вида: $\{УС, УС \rightarrow БС\} \Rightarrow БС$ или «Если имеет место условный стимул, и за условным стимулом следует безусловный, то нужно ожидать появления безусловного стимула». В определенной степени такие выводы подобны выводам математика, доказывающего теоремы. И целесообразно разобраться в системах подобных выводов, понять, насколько адаптивна «логика» поведения животных и насколько она подобна нашей, человеческой логике.

Д. Исследование коммуникаций, возникновения языка. Наше мышление тесно связано с языком, с языковым общением между людьми. Поэтому целесообразно проанализировать: как в процессе биологической эволюции возникал язык общения животных, как развитие коммуникаций привело к современному языку человека, как развитие коммуникаций и языка способствовало развитию логики, мышления, интеллекта человека.

Опираясь на эти пункты, мы начали соответствующее моделирование.

4. Начальные шаги моделирования когнитивной эволюции

Были построены и исследованы следующие модели:

- модель автономных агентов (модельных организмов) с потребностями питания, безопасности, размножения;
- модель формирования эвристик и обобщенных понятий у агента, ведущего поиск пищи в двумерной клеточной среде;
- основанная на биологическом эксперименте компьютерная модель предсказаний и планирования рыбами, изучающими лабиринты
- компьютерная модель планирования новокаледонскими воронами.

Кратко охарактеризуем последнюю модель. Модель формализовала поведение ворон в очерченном выше эксперименте по новокаледонским воронам. Рассматривались автономный агент (модельная ворона). Агент предварительно обучался и запоминал предсказания: в какой ситуации, какие действия приводят к каким результатам. Далее, используя эти предсказания результатов отдельных действия, агент формировал план решения задачи всей задачи: достичь целевой ситуации, т.е. добыть пищу.

Схема формирования плана включала следующие процессы:

- анализ на основе предсказаний, мысленное движение в «обратном направлении»: от цели к исходной ситуации, оценки расстояний от ситуации до цели;
- угадывание, генерация недостающих предсказаний с помощью «мысленных экспериментов» и реальных тестов;
- формирование базы знаний, характеризующей ситуации, действия, предсказания результатов действий и оценки расстояний до цели;
- формирование плана поведения на основе базы знаний, мысленное движение «в прямом направлении»: от исходной ситуации к цели.

После того, как план сформирован, агент выполняет действия, реализует этот план. А затем формирует стереотип поведения, выполняет действия автоматически; действия в соответствии со стереотипом должны совершаться значительно быстрее, чем при формировании плана (не надо думать).

Подробнее отмеченные модели представлены в [7]. Эти модели целесообразно рассматривать как начальный этап более полноценных исследований.

5. Прикладные аспекты моделирования когнитивной эволюции

Моделирование когнитивной эволюции направлено на изучение фундаментальной проблемы – проблемы эволюционного происхождения мышления. Но при серьезных научных исследованиях неизбежно попутно возникают и связанные с ними прикладные направления.

Подход к гармонизации развития человечества. Исследование проблемы происхождения мышления могло бы способствовать более гармоничному развитию человечества. Ведь во многих регионах мира возникает напряженность в международных отношениях, идут локальные войны, связанные с различием традиций и религий разных народов, в определенной степени, стимулируемые религиозными разногласиями.

Разные конфессии имеют разные точки зрения на происхождение человека, происхождение духовного мира человека. Но ведь проблему происхождения человека, проблему происхождения мышления человека, его духовного мира можно изучать и с научной точки зрения. Причем задача исследования происхождения человеческого мышления – глубокая проблема современной науки.

Для налаживания взаимопонимания между людьми, придерживающихся разных мировоззрений, был бы полезен широкий международный диалог по проблемам происхождения человека, основанный на наиболее серьезном и глубоком миропонимании – научном миропонимании. Ведь если молодой палестинец и молодой израильтянин вместе занимаются научным исследованием проблемы происхождения человека и его интеллекта, то разве захотят они воевать между собой?

На основе научного миропонимания возможно развитие диалога между людьми, придерживающихся разных взглядов на происхождение человека, между различными конфессиями, установление взаимопонимания между различными народами. Такой диалог мог бы способствовать устранению причин международных конфликтов, способствовать гармоничному развитию человеческого сообщества.

Отметим еще два интересных направления возможных прикладных работ: 1) устранения причин агрессивной конкуренции на основе моделирования эволюции конкурирующих агентов, и 2) многоагентные модели прозрачной рыночной экономики.

Идея проекта на Нобелевскую премию мира. В компьютерной модели эволюции популяции автономных агентов [8] рассматривался двумерный клеточный мир, в клетках могли находиться агенты и их пища. Агенты могли двигаться, съедать пищу, делиться и бороться друг с другом. Каждый агент обладал внутренним энергетическим ресурсом, который пополнялся, когда агент выполнял действие «питаться» и съедал пищу и расходовался при выполнении других действий. При нападении одного агента на второго (выполнении действия «ударить») нападающий агент отнимал ресурс у второго агента, если второй агент не выполнял действие «защищаться»; но если второй агент защищался, то первый агент просто расходовал значительный ресурс.

Система управления агента представляла собой нейронную сеть, на вход сети подавалась сенсорная информация, выходы сети определяли действия агента. В процессе эволюции потомки агентов наследовали измененную мутациями нейронную сеть агентов-родителей. Моделирование продемонстрировало, что в процессе эволюционной самоорганизации может формироваться популяция увеличенной численности, в которой у агентов отсутствовали «гены агрессивности»: в нейронной сети агентов-особей в результате мутаций исчезали эффекторы, ответственные за борьбу между агентами. Такие агенты не тратили свой энергетический ресурс на борьбу с другими агентами, а использовали ресурс для полезных действий.

Если рассмотреть эволюцию агентов как эволюцию государств, то можно предложить идею проекта на Нобелевскую премию мира «Разработка научных основ всемирного разоружения». Подробнее см. статью [9].

Многоагентная модель прозрачной рыночной экономики. В работе [10] была построена и исследована компьютерная модель прозрачной рыночной экономики. Рассматривалось экономическое сообщество, состоящее из инвесторов и производителей. В этом сообществе имеется конкуренция, которая может приводить вымиранию тех или иных инвесторов и производителей, что характерно для рыночной экономики. Тем не менее, хотя экономика и рыночная, экономические характеристики каждого из субъектов сообщества открыты для всего сообщества. Поэтому такую экономическую систему можно назвать честной рыночной экономикой.

При моделировании была продемонстрирована естественная динамика капиталов инвесторов и производителей. Схема модели может быть нацелена на объединение положительных сторон социалистической и капиталистической экономических систем.

Перспективы

Возвращаясь к общему обсуждению исследований когнитивной эволюции, подчеркнем, что

- моделирование когнитивной эволюции связано с фундаментальными проблемами, с развитием научного миропонимания;
- имеются серьезные заделы этих исследований со стороны вычислительных наук и биологических экспериментов;
- моделирование когнитивной эволюции связано с широким кругом дисциплин.

И уверенно можно утверждать, что моделирование когнитивной эволюции имеет серьезные перспективы.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-01-00223.

Литература

1. Кант И. Критика чистого разума. Соч. в 6-ти томах. Т. 3. М.: Мысль, 1964. С. 69–695.
2. Кант И. Прелегомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. Соч. в 6-ти томах. Т. 4, часть 1. М.: Мысль, 1965. С. 67–210.
3. Lorenz K. Kant's doctrine of the a priori in the light of contemporary biology (1941) // *Learning, Development and Culture: Essays in Evolutionary Epistemology* (Ed. Plotkin H.). New York: Wiley, 1982. PP. 121–143. См. также перевод: Лоренц К. Кантовская концепция а priori в свете современной биологии // В книге: *Эволюция. Язык. Познание* (Под ред. Меркулова И.П.). М.: Языки русской культуры, 2000. С. 15–41.
4. Вигнер Е. Непостижимая эффективность математики в естественных науках // *Успехи физических наук*. 1968. Т. 94. № 3. С. 535–546.
5. Зорина З.А., Полетаева И.И. Зоопсихология. Элементарное мышление животных. М.: АспектПресс. 2001.
6. Taylor A.H., Elliffe D., Hunt G.R., Gray R.D. Complex cognition and behavioural innovation in New Caledonian crows // *Proceedings of the Royal Society B*. 2010. V. 277. No. 1694. PP. 2637–2643.
7. Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции: На пути к теории эволюционного происхождения мышления. М: ЛЕНАНД/URSS, 2015 – 256 с.
8. Бурцев М.С. Модель эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения. 2. Исследование развития иерархии целей // Препринт ИПМ РАН, 2002, № 69.

9. Редько В.Г. Будущее России, будущее человечества // Сложность. Разум. Постнеклассика (электронный журнал). 2013. № 3. С. 55–64. См. также: <http://cmp.esrae.ru/pdf/2013/3/7.pdf>
10. Редько В.Г., Сохова З.Б. Многоагентная модель прозрачной экономической системы // Сложность. Разум. Постнеклассика (электронный журнал). 2013. № 3. С. 90-96. См. также: <http://cmp.esrae.ru/pdf/2013/3/10.pdf>