

## Как исследовать происхождение человеческой логики

Редько В.Г.  
НИИ системных исследований РАН, Москва,  
[vgredko@gmail.com](mailto:vgredko@gmail.com)

**Аннотация.** Комментируется статья Н.Б. Новикова «Происхождение человеческой логики». Намечаются пути дальнейших исследований.

Так как статья Н.Б. Новикова «Происхождение человеческой логики» [1] находится на границе тематики журнала «Нейроинформатика», то целесообразно кратко прокомментировать эту статью. Кроме того, статья поднимает очень интересные вопросы, обсуждение которых может привести к дальнейшим перспективным исследованиям.

Итак, статья [1] интересна. Конечно, в статье есть небольшие недочеты: например, используется несколько широкая интуитивная интерпретация теоремы Геделя, можно было бы уточнить некоторые ссылки на литературу. Но это практически не существенно, мысль автора статьи легко можно понять без этих уточнений. Важно то, что в статье достаточно последовательно излагаются результаты экспериментальных исследований когнитивных, интеллектуальных способностей высших животных. Сформировано определенное понимание эволюционного происхождения интеллекта животных и человека. Кроме того, хорошо подчеркивается роль индукции и аналогии в процессах творческого мышления высших животных и человека, в том числе в процессах научного познания.

### Об эволюционных корнях дедуктивной логики

Единственное, что хочется оспорить, так это утверждение о том, что проблема эволюционного происхождения человеческой логики решена. В статье на ряде биологических примеров хорошо охарактеризованы отдельные интеллектуальные способности высших животных. Но почему эти способности возникали? Что они обеспечивали? Почему они эффективны? Как продемонстрировать с помощью компьютерных моделей эволюционное возникновение и эффективность этих когнитивных способностей? Эти вопросы пока открыты.

Более того, есть нетривиальная проблема. Почему математические доказательства применимы к реальной природе? Математики доказывают теоремы. Результаты, полученные математиками, используются в естественных науках. Например, мощь физики связана с эффективным использованием математики. А математические доказательства носят формальный характер. Математик доказывает теоремы совсем независимо от реальной природы, используя свое логическое дедуктивное мышление. Почему же это формальное логическое дедуктивное мышление применимо для получения результатов, используемых в научном познании реальной природы? Почему результаты,

полученные математиками формальным логическим путем, применимы к реальным физическим объектам? Проблема, действительно, нетривиальна. Причем проблема, несомненно, важна: ее исследование – это определенное обоснование всего научного познания. И возникают вопросы: можно ли исследовать эту проблему, и если да, то как ее исследовать?

Ранее эти вопросы обсуждались [2-4] и был намечен подход к исследованию проблемы. Подход вполне естественный: разобраться, как и почему в процессе эволюции произошли те логические формы, которые используются в математических доказательствах. Но можно ли в принципе пойти этим путем?

Для того чтобы показать, что это в принципе возможно, приводилась следующая аналогия.

Одно из элементарных правил, которое использует математик в логических заключениях, – правило *modus ponens*: «если имеет место  $A$ , и из  $A$  следует  $B$ , то имеет место  $B$ », или  $\{A, A \rightarrow B\} \Rightarrow B$ . Перейдем от математика к собаке, у которой вырабатывают классический условный рефлекс. При выработке рефлекса в памяти собаки формируется связь «за УС должен последовать БС» (УС – условный стимул, БС – безусловный стимул). Когда после выработки рефлекса собаке предъявляют УС, то она, «помня» о хранящейся в ее памяти «записи»  $УС \rightarrow БС$ , делает элементарный «вывод»  $\{УС, УС \rightarrow БС\} \Rightarrow БС$ . И собака ожидает БС.

Конечно, чисто дедуктивное применение правила *modus ponens* математиком и индуктивный «вывод», который делает собака, явно различаются. Такое различие между дедукцией и индукцией хорошо подчеркнуто в [1]. Аналогия есть аналогия, у нее есть и слабые стороны. Тем не менее, и в первом и во втором случаях речь идет о следственной связи между математическими утверждениями либо событиями: из  $A$  следует  $B$ , за УС следует БС. В обоих случаях есть следственная зависимость одного от другого ( $A \rightarrow B$  либо  $УС \rightarrow БС$ ). Хотя контексты следственной связи, следственной зависимости в этих двух случаях различны: в первом случае  $B$  есть формальное логическое следствие  $A$ ; во втором случае в процессе наблюдений формируется и запоминается причинно-следственная связь между событиями УС и БС, следующими одно за другим во времени.

Указанная аналогия позволяет задуматься об эволюционных корнях логических правил, используемых в математике. Не исключено, что простейшие формы дедуктивных правил возникли как обобщение индуктивных правил.

Отметим, что история возникновения полноценных математических доказательств (с системой аксиом и теорем, как в геометрии Евклида) весьма нетривиальна. Это уже происходило в человеческом обществе и в происхождении математических доказательств важную роль играли и вера в идеальные математические образы, и стремление к красоте математической строгости. См. например, хороший аналитический обзор в книге В.Ф. Турчина «Феномен науки» [5], в которой рассмотрено (главы 8-10), как в древней Греции возникло стремление к строгости математического мышления и как это стремление привело к четким математическим доказательствам.

Также подчеркнем, что правила логического вывода, используемые при математических доказательствах, – известны и достаточно хорошо

## Как исследовать происхождение человеческой логики

формализованы [6]. В основе этих выводов – элементарные правила, подобные *modus ponens*.

Как же исследовать происхождение логики? Как вести эти междисциплинарные исследования?

### Как исследовать происхождение человеческой логики

Далее будем рассматривать не только дедуктивную логику, а человеческую логику в более широком смысле, ту логику, которая используется в научном познании, рассматривая ее примерно так, как это подразумевается в [1].

В [2-4] было предложено вести исследование когнитивной эволюции, эволюции познавательных способностей биологических организмов путем построения математических и компьютерных моделей когнитивной эволюции, в процессе которой произошли способности научного познания. Рассмотрим предпосылки и заделы исследования когнитивной эволюции.

Есть ли биологические эксперименты, характеризующие эволюцию познавательных способностей животных? Да, такие эксперименты ведутся, некоторые из них хорошо отражены в [1]. Хотя, как уже сказано выше, хотелось бы более четко прочувствовать эволюционную динамику этих способностей, понять, как и за счет чего эти способности эволюционно возникали и почему эти способности были важны для биологических организмов. Возможно, стоило бы выделить и экспериментально исследовать «ключевые» когнитивные способности животных, чтобы понять основные моменты когнитивной эволюции.

Для полноценного исследования эволюции познавательных способностей важно провести моделирование когнитивной эволюции. Есть ли задел этого моделирования? Оказывается, что да, есть. Модели познавательных свойств живых организмов развиваются в рамках направления исследований «Адаптивное поведение». Основной подход этого направления – конструирование и исследование модельных «организмов» (в виде компьютерной программы или робота), способных приспосабливаться к внешней среде. Эти модельные «организмы» часто называются «аниматами» (от англ. *animal* + *robot* = *animat*) или автономными агентами. Исследователи адаптивного поведения стараются строить такие модели, которые применимы к описанию поведения как реального животного, так и искусственного анимата [7, 8]. Причем дальняя цель этого направления (как она рассматривалась на начальных этапах этих работ) – попытаться проанализировать эволюцию когнитивных способностей животных и эволюционное происхождение человеческого интеллекта [9]. Эта цель близка к задаче моделирования когнитивной эволюции.

Также есть задел по моделированию когнитивных свойств искусственных «организмов» в области исследований интеллектуальных автономных агентов. Обзор таких работ представлен в [10].

Интересные работы по анализу биологических теорий и моделированию когнитивных свойств живых организмов на основе логических правил выполнены в [11,12].

Важное свойство, которое целесообразно использовать при исследовании когнитивной эволюции, – внутренняя модель организма [5]. Простейшая модель предсказывает будущие ситуации. Более сложные внутренние модели животного – модель внешнего мира или модель взаимодействия рассматриваемого организма с внешним миром. Отметим, что научные теории, такие как квантовая механика или теория относительности, также можно рассматривать как модели внешнего мира. Начиная с определенного уровня, модели могут быть структурированными, иерархическими. В структурированных научных моделях часто используется математика.

Еще одно важное когнитивное свойство – предсказание будущих ситуаций. Это свойство может быть простым, таким как в классическом условном рефлексе: предсказывается безусловный стимул и это предсказание используется в адаптивном поведении животного. Но предсказание может быть и более сложным: оно может быть использовано при планировании поведения животного, а если рассматривать научную теорию, то теория предсказывает новые, заранее неизвестные события и эффекты. Отметим, что в работе [13] была сделана интересная попытка пересмотра оснований математики, в частности, была сделана попытка ввести предиктивную логику, что связано именно с предсказаниями.

Некоторые начальные шаги моделирования когнитивной эволюции отражены в [14, 15]. Были построены и исследованы компьютерные модели, которые характеризуют элементарные когнитивные способности автономных агентов. Автономные агенты запоминают соответствия между ситуациями, в которые они попадают, и действиями, которые они выполняют в этих ситуациях. Эти соответствия запоминаются в форме логических правил или с помощью искусственных нейронных сетей.

Итак, со стороны нескольких дисциплин имеются подходы к моделированию когнитивной эволюции, также имеются заделы этого моделирования. Однако в целом исследование когнитивной эволюции только начинается. Следуя [3, 4], наметим возможные этапы будущего моделирования когнитивной эволюции.

**А) Моделирование адаптивного поведения аниматов с несколькими естественными потребностями: питания, размножения, безопасности.** Моделирование в этом направлении уже начато [4, 14, 15].

**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». 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.

## Как исследовать происхождение человеческой логики

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 и сопоставление логики поведения животных и человеческой логики.**

**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.

Перечисленные пункты очерчивают круг исследований от моделирования простейших форм адаптивного поведения к логическим правилам, используемым в математике. Как отмечено выше, работы в этих направлениях уже ведутся [4, 10-12, 14, 15], но четкой последовательности серьезных, канонических моделей еще нет.

## Литература

1. Новиков Н.Б. Происхождение человеческой логики // Нейроинформатика (электронный рецензируемый журнал), 2010. Т. 4. № 1. С. 1-30.  
<http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V4/N1/Novikov.pdf>
2. Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. М.: Наука, 2001.
3. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. М.: КомКнига. (Изд-во УРСС, серия «Синергетика: от прошлого к будущему»), 2005.
4. Редько В.Г. Актуальность моделирования когнитивной эволюции // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Материалы избранных научных трудов по теме «Актуальные вопросы нейробиологии, нейроинформатики и когнитивных исследований». М.: НИЯУ МИФИ, 2010. С. 69-90.
5. Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. М.: Наука, 1993. (1-е изд.). М.: ЭТС, 2000. (2-е изд.). См. также <http://www.refal.ru/turchin/phenomenon/>
6. Математическая теория логического вывода (под ред. А.В. Идельсона и Г.Е. Минца). М.: Наука, 1967.
7. Meyer J.-A., Wilson S. W. (Eds.). From Animals to Animats. Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge: MIT Press, 1991.
8. Непомнящих В.А. Поиск общих принципов адаптивного поведения живых организмов и аниматов // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 2. С. 48-53.
9. Donnat J.Y., Meyer J.-A. Learning reactive and planning rules in a motivationally autonomous animat // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics, 1996. V. 26. N. 3. PP. 381-395.
10. Vernon D., Metta G., Sandini G. A survey of artificial cognitive systems: Implications for the autonomous development of mental capabilities in computational agents // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, special issue on Autonomous Mental Development, 2007. V. 11. No. 2. PP. 151-180.

Редько В.Г.

11. Витяев Е.Е. Принципы работы мозга, содержащиеся в теории функциональных систем П.К. Анохина и теории эмоций П.В. Симонова // Нейроинформатика (электронный рецензируемый журнал). 2008. Т. 3. № 1. С. 25-78. <http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V3/N1/Vityaev.pdf>
12. Демин А.В., Витяев Е.Е. Логическая модель адаптивной системы управления // Нейроинформатика (электронный рецензируемый журнал). 2008. Т. 3. № 1. С. 79-108. <http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V3/N1/DeminVityaev.pdf>
13. Turchin V.F. A constructive interpretation of the full set theory // Journal of Symbolic Logic, 1987. V. 52. No. 1. PP. 172 -201.
14. Red'ko V.G. Models of cognitive evolution: Initial steps // The 6th International Conference on Neural Network and Artificial Intelligence ICNNAI'2010 / Proceedings. Ed. V.A. Golovko. Brest: BSTU, 2010. PP. 133-139.
15. Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции. Первые шаги. Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2 т. Томск: ТГУ, 2010. Т. 2. С. 504-505.

Статья поступила 30 июня 2010 г.