

# Возможные подходы к моделированию нестандартного познавательного поведения животных

В.А. Непомнящих<sup>1</sup>, В.Г. Редько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок Ярославской обл.; email: nepom@ibiw.yaroslavl.ru

<sup>2</sup>НИИ системных исследований РАН, Москва; email: vgreddko@gmail.com

## Введение

В работе анализируются подходы к моделированию нестандартного познавательного поведения животных. Обсуждаются следующие вопросы, характеризующие когнитивные способности животных. Как животное делает предсказания будущих событий? Как эти предсказания используются при формировании поведения? Когда животное осуществляет тестовые действия? Как на основе тестовых действий формируются знания и предсказания? Как животное использует собственные «орудия труда» при целенаправленном поведении? Когда животное изготавливает эти «орудия»? Как формируется сложное поведение из отдельных элементов этого поведения?

Анализ будем вести на основе экспериментальных исследований биологов и собственных начальных шагов моделирования нестандартного поведения животных. Рассмотрение будем вести на основе анализа поведения достаточно простых животных: рыб, попугаев, ворон.

## Гениальные птицы

Сначала остановимся на интересных и нетривиальных экспериментах, представленных в научно-популярном фильме «Клюв и мозг. Гениальные птицы» [1]. В фильме рассказывается о поведении попугаев кеа (из Новой Зеландии) и новокаледонских ворон. В частности, приводятся результаты двух экспериментов.

В первом эксперименте орнитолог Гевин Хант (Gavin Hunt, The University of Auckland, New Zealand) непосредственно в лесу приготовил специальный «обеденный стол» для новокаледонских ворон: толстый кусок ствола дерева с просверленными достаточно тонкими отверстиями. В отверстия орнитолог положил кусочки мяса (пищу ворон). Отверстия были достаточно глубокими, так что вороны не могли достать пищу клювом. Сам орнитолог спрятался в палатке и наблюдал за воронами. Вороны прилетели к «столу» не сразу. По-видимому, вороны проявили сначала осторожность. Но потом вороны прилетели, стали изготавливать орудия для добычи пищи (палочки из веточек и стеблей растений) и научились с помощью достаточно длинных палочек (а еще лучше с помощью палочек с крючком на конце) доставать пищу из глубоких отверстий. Подробнее см. фильм [1].

Во втором эксперименте было одновременно проведено два опыта: с попугаями кеа и с новока-

ледонскими воронами. И те, и другие птицы должны были решать одни и те же задачи. Эксперименты проводились в Европе в двух местах на расстоянии 500 км. друг от друга. Эксперименты проводили Алиса Ауершперг (Alice M.I. Auer-sperg, University of Veterinary Medicine, Vienna, Austria) и Августа фон Байерн (Auguste M.P. von Bayern, Max Planck Institute for Ornithology, Pock-ing, Germany). Птицам в лабораторных условиях давали задание: добыть пищу из довольно сложного экспериментального устройства, используя простые орудия: веревочки, палочки, шары, камешки. Такие орудия были разбросаны возле экспериментальной установки. Причем до решения надо было догадаться: просунуть палочку в нужное место установки, протолкнуть шар в подходящее отверстие или кинуть камешек в соответствующее место, чтобы камешек вытолкнул пищу из установки. То есть, и попугаи, и вороны должны были решить достаточно сложные задания. Используемые экспериментальные устройства были сделаны из прозрачного пластика, так что птицы хорошо видели свою цель. В фильме «Клюв и мозг...» это представлено как соревнование между попугаями и воронами. В результате и попугаи, и вороны успешно решили все предложенные ими задания. Получилось это не с первого раза, были и пробные неудачные попытки, но в конце концов птицы успешно справились с предложенными им заданиями. Этот эксперимент показал, что попугаи кеа и новокаледонские вороны имеют примерно одинаковый уровень догадливости, одинаковый и достаточно высокий уровень когнитивных способностей. Подробнее об эксперименте см. [1].

Итак, очерченные эксперименты показывают, что попугаи кеа и новокаледонские вороны обладают интересными и нетривиальными когнитивными способностями. Часто они тестируют ситуации, познают внешний мир и свое взаимодействие с внешним миром, а потом используют полученное знание при целенаправленном поведении. Теперь перейдем к начальным моделям, характеризующим это когнитивное поведение.

## Модель планирования новокаледонскими воронами

Кратко рассмотрим модель, основанную на биологическом эксперименте с новокаледонскими воронами [2]. В этом эксперименте вороны пред-варительно обучались выполнению отдельных

элементов довольно сложного поведения. После обучения воронам предлагалось решить следующую трехзвенную проблему: (1) подтянуть привязанную на шнуре короткую палочку и освободить ее от шнура, (2) с помощью короткой палочки достать длинную палочку из зарешеченного контейнера, (3) длинной палочкой извлечь пищу из второго глубокого прозрачного контейнера. При этом невозможно было извлечь пищу из глубокого контейнера с помощью короткой палочки или клюва и извлечь длинную палочку из зарешеченного контейнера клювом. Поэтому, чтобы добыть пищу, вороне надо было выполнить четко определенную цепочку указанных последовательных действий:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ .

Итак, вороны обучались отдельным элементам поведения, направленного на решение трехзвенной проблемы. А затем самостоятельно мысленно планировали полностью все это поведение, мысленно связывая отдельные элементы в единую цепочку.

В работах [3, 4] строилась модель мысленного формирования плана поведения, нацеленного на решение трехзвенной проблемы. Предполагалось, что механизм формирования плана решения трехзвенной проблемы включает в себя следующие этапы:

- 1) прямое мысленное рассмотрение от исходной ситуации к целевой (до тех пока не будет найдена правильная цепочка действий, ведущих к цели)
- 2) проверка найденного решения путем тестирующего обратного и прямого мысленного рассмотрения
- 3) генерация стереотипа целенаправленного поведения после тестирования.

Предполагалось, что вороны используют предсказания вида

$$\{S_{current}, A_{current}\} \rightarrow S_{next}, \quad (1)$$

где  $S_{current}$  и  $A_{current}$  – текущие ситуация и действие,  $S_{next}$  – следующая ситуация, в которую ворона попадет после выполнения действия  $A_{current}$ . Некоторым из этих предсказаний вороны обучаются в результате предварительного обучения, а часть предсказаний формировалась позже этого, в процессе формирования плана решения всей трехзвенной проблемы.

Считалось, что при прямом мысленном рассмотрении вороны анализируют возможности достижения цели, исходя из исходной ситуации. При этом вороны могут тестировать мысленно или реально пробовать отдельные действия и догадываться с определенными вероятностями до нужных предсказаний вида (1). В модели предполагалось, что формируются уверенности в предсказаниях, которые увеличиваются/уменьшаются при правильном/неправильном предсказании. Если сразу решение не найдено, то происходит повтор прямого мысленного рассмотрения.

После первого нахождения результата происходит его проверка, при этом при тестирующем обратном мысленном рассмотрении оцениваются расстояния между текущими ситуациями и целе-

вой (такое расстояние – это число действий, необходимое для достижения цели из рассматриваемой ситуации).

При успешной проверке формируется база знаний, характеризующая ситуации, действия, предсказания результатов действий, оценки расстояний между текущими ситуациями и целевой ситуацией. Для надежности проводится и тестирующее прямое мысленное рассмотрение, которое уже использует базу знаний. На основе базы знаний строится план решения трехзвенной проблемы. При этом выбираются действия, приводящие к уменьшению расстояния до цели.

Отметим, что в модели была введена проверка полученного результата путем обратного и прямого тестирующего мысленного рассмотрения. Это тестирование подобно быстрому обратному (а, возможно, и прямому) возбуждению клеток места в гиппокампе животных после достижения результата путем перемещения в пространстве [5, 6]. Возможно, что такая проверка играет важную роль в надежном запоминании полученного решения.

После проверки формируется стереотип целенаправленного поведения. При выполнении действий в соответствии со стереотипом уже не нужны мысленные усилия для формирования плана поведения, следовательно, стереотипное поведение должно происходить быстро.

Было проведено компьютерное моделирование по очерченной схеме формирования планов воронами. Результаты моделирования качественно согласуются с биологическим экспериментом [2].

Подчеркнем, что в этой модели важную роль играют тестовые действия, которые мысленно или реально совершают модельные вороны в процессе прямого мысленного рассмотрения. Также в фильме [1] явно чувствуется, что «гениальные птицы» часто делают пробные, тестовые действия. Как бы они считают «а попробую такое действие и посмотрим, что получится». Это близко к предположению работы [7], в которой считается, выполнение действия начинается до наблюдения внешней среды. То есть, в когнитивном поведении пробы, тесты, попытки что-то сделать новое играют важную роль.

## **Модели познавательных способностей рыб, изучающих лабиринты**

Отметим еще важные особенности когнитивного поведения, охарактеризованные в моделях рыб, изучающих лабиринты [4, 8]. Модели основаны на биологическом эксперименте [8], в котором изучалось поведение рыб в незнакомой им среде.

Была построена модель накопления рыбами знаний о коридорах лабиринта. Считалось, что модельная рыба имеет определенное знание  $K_i$  о каждом из коридоров, в момент посещения агентом  $i$ -го коридора величина  $K_i$  становится равной 1, а для остальных коридоров величины  $K_j$  постепенно уменьшаются.

Также была построена компьютерная модель, в которой рассчитывалась уверенность модельных рыб в предсказании будущих ситуаций вида (1). Уверенности увеличивались/уменьшались при правильном/неправильном предсказании.

Кроме этого была построена гипотетическая модель, предполагавшая, что после определенного освоения лабиринта рыба способна сформировать некоторые обобщенные понятия, характеризующие места в этом лабиринте. В этой модели предполагается, что модельная рыба уже хорошо освоила лабиринт, т.е. рыба уже имеет сформированные знания  $K_i$  для всех обобщенных ситуаций и уверенности в предсказаниях для всех возможных цепочек вида (1). Используя эти знания  $K_i$  и уверенности, рыба может создать план движения к месту, для которого величина  $K_i$  минимальна, т.е. к тому месту, которое она давно не посещала.

Модельная рыба формирует план, сначала мысленно анализируя пути движения от целевой ситуации к исходной. В результате у рыбы создается база знаний, которая характеризует ситуации, действия, предсказания результатов действий, оценку расстояний между текущими ситуациями и целевой ситуацией (это расстояние равно числу действий, необходимых для перехода из текущей ситуации в целевую). Используя эту базу знаний, рыба формирует план движения от исходной ситуации к целевой.

### Заключение

Оценивая общие свойства рассмотренных моделей, можно выделить следующие характерные черты рассмотренных модельных организмов:

- 1) Тестирование возможных действий, полученные знания о результатах действий.
- 2) Оценка знаний о каждой из возможных ситуаций.
- 2) Движение к ситуации, знания о которой минимальны. Тем самым модельный организм может самостоятельно формировать новые текущие цели своего поведения. Например, рыба в лабиринте может решить двигаться в тот коридор, для которого знания минимальны, т.е. в тот коридор, который она давно не посещала.
- 3) Формирование предсказаний о результатах действий. Оценка уверенности в предсказаниях, стремление к надежным предсказаниям, уверенность в которых высока.
- 4) Формирование простой базы знаний, характеризующей ситуации, действия, прогнозы результатов действий, оценки расстояний между текущими ситуациями и целевой ситуацией.
- 5) Использование базы знаний при планировании целенаправленного поведения.
- 6) Прямые и обратные мыслительные процессы (от исходной ситуации к целевой и обратно).
- 7) Формирование стереотипа целенаправленного поведения.

Подчеркнем, что в нашем докладе очерчены только начальные модели нетривиального когнитивного поведения животных. Однако явно видны перспективы дальнейшего моделирования нетривиальных познавательных способностей животных [9].

### Литература

1. *American Public Television*. Beak and brain: genius birds from down under [<https://www.aptonline.org/catalog.nsf/vLinkTitle/BEAK+AND+BRAIN+GENIUS+BIRDS+FROM+DOWN+UNDER>]. *Клюв и мозг. Гениальные птицы* [[https://www.youtube.com/watch?v=-8b\\_xY8tpQQ](https://www.youtube.com/watch?v=-8b_xY8tpQQ)].
2. 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. P. 2637–2643.
3. Red'ko V.G., Burtsev M.S. Modeling of mechanism of plan formation by New Caledonian crows // *Procedia Computer Science*. 2016. V. 88. P. 403–408. See also: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916317124>
4. Редько В.Г., Непомнящих В.А., Бурцев М.С. Биологически инспирированные модели когнитивных автономных агентов // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016: Труды конференции. Т. 2. Смоленск. С. 283–291.
5. Foster D.J., Matthew A. Wilson M.A. Reverse replay of behavioural sequences in hippocampal place cells during the awake state // *Nature*, 2006. V. 440. No. 7084. P. 680–683.
6. Diba K., Buzsaki G. Forward and reverse hippocampal place-cell sequences during ripples // *Nature Neuroscience*, 2007. V. 10 No. 10. P. 1241–1242.
7. Georgeon O.L., Casado R.C., Matignon L.A. Modeling biological agents beyond the reinforcement-learning paradigm // *Procedia Computer Science*, 2015. V. 71. P. 17–22. See also: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915036406>
8. Red'ko V.G., Nepomnyashchikh V.A., Osipova E.A. Models of fish exploratory behavior in mazes // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 2015. V. 13. P. 9–16.
9. Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции: На пути к теории эволюционного происхождения мышления. М: ЛЕНАНД/URSS, 2015. 256 с.