

УДК 004.81

Формирование и использование знаний в коллективе агентов

В. Г. Редько

НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, Москва, Россия, vcredko@gmail.com

Аннотация. В настоящей работе построена и проанализирована компьютерная модель формирования и использования информации в коллективе агентов. Модель основана на изложенных в книге Л. Либенберга «Происхождение науки» наблюдениях упорной охоты на антилоп на жаре в пустыне Калахари (Южная Африка). В модели рассматривается поведение группы агентов-охотников, преследующих агента-антилопу. Охота ведётся без оружия до изнеможения антилопы или охотников. Охотники обмениваются знаниями и информацией о своём нахождении и нахождении антилопы. За счёт такого обмена информацией охота коллектива охотников становится более успешной. Опытные охотники могут формировать и использовать простые гипотезы о нахождении антилопы и о своих целенаправленных действиях. Использование таких гипотез приводит к увеличению успешности охоты. Формирование и использование этих гипотез может рассматриваться как зарождение предшественников процессов научного познания. В модели продемонстрирована эффективность обмена информацией и формирования гипотез в коллективе агентов-охотников.

Ключевые слова: предшественники научного познания, агенты-охотники, агенты-антилопы, обмен информацией между агентами, формирование и проверка простых гипотез

1. Введение

Существует интересная проблема: почему формальное мышление, используемое в математике, применимо к реальной природе [1, 2]? С этой проблемой связан вопрос: как произошло наше мышление, используемое в научном познании? Частичный ответ на этот вопрос даёт книга В.Ф. Турчина «Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции» [3], в которой рассматривается эволюция научного познания как развитие биокибернетической эволюции. В частности, в этой книге рассматривается примитивное мышление и начальные формы пред-научного познания в древнем мире (в Древнем Египте, в Вавилоне), когда уже возникли письменность, простейшая математика, простая астрономия. Хотя в книге [3] не рассматривались более ранние фазы познавательных процессов, предшествовавших методам, сформировавшимся в Древнем Египте, в Вавилоне.

Для рассмотрения более ранних форм познания стоит обратиться к книге Л. Либенберга «Происхождение науки... (The Origin of Science...)» [4], в которой характеризуются познавательные процессы охотников-слепопытов в пустыне Калахари (Южная Африка). Причём охотники, наблюдая следы антилоп и используя знания о поведении антилоп, делали предсказания о будущем

движении антилоп. Формирование и использование прогнозирующих гипотез охотниками в определённой степени аналогичного формированию и использованию гипотез в научном познании. Отметим, что согласно анализу, проведённому в книге [4], рассмотренные в ней формы охоты могли возникнуть около 2 млн лет назад.

В настоящей работе строится и анализируется компьютерная модель охотников, преследующих антилоп. При этом основное внимание будем уделять рассмотрению коллектива охотников, преследующих совместно одну антилопу и обменивающихся информацией между собой.

2. Модель

Строим модель, рассматривая случай упорной охоты (persistence hunting), охарактеризованный в книге [4]. В случае такой охоты охотники длительное время без оружия преследуют антилопу на жаре до изнеможения антилопы или охотников. Рассматриваем двумерный клеточный мир, аналогичный пустыне Калахари: в основном мир песчаный, только в некоторых клетках имеются деревья, в тени которых антилопа или охотник могут отдыхать. Размер мира равен 200 на 1000 клеток ($N_x = 200$, $N_y = 1000$). Число клеток с деревьями составляет примерно 10% от общего числа клеток.

Рассматриваем два вида агентов: агент-

антилопа и агенты-охотники. Каждый агент имеет свой ресурс. Ресурс расходуется при перемещении агентов, также ресурс расходуется при нагреве агента. Если антилопа находится в тени дерева, то её ресурс, требуемый на перемещение и защиту от перегрева, немного пополняется. Время t дискретно: $t = 1, 2, \dots$

Охота происходит в течение ряда этапов. В начале каждого этапа формируется своё случайное распределение деревьев по клеткам мира. Ресурс каждого агента в начале этапа достаточно большой. Если ресурс агента (за счёт перемещения и расходов, связанных с нагревом) уменьшился до нуля, то такой агент считается истощённым и погибает. Имеется определённая дистанция взаимного видения D_V антилопы и охотника, если расстояние между антилопой и охотником меньше D_V , то они видят друг друга.

Охарактеризуем действия агентов. Действия антилопы таковы.

1А. Если расстояние между антилопой и охотниками меньше D_V , то антилопа уходит от группы охотников.

2А. Если антилопа не выполняет указанное действие, и её ресурс R_A мал $R_A < R_{AC}$ (R_{AC} – некоторое критическое значение ресурса для антилопы), то антилопа, уходя от охотников, движется к ближайшему дереву, чтобы немного пополнить свой ресурс в тени дерева. Если $R_A > R_{AC}$, то антилопа, грубо оценивая местонахождение группы охотников, удаляется от этой группы.

Имеется некоторое небольшое критическое значение ресурса охотника R_{HC} . Если ресурс охотника R_H стал меньше этого критического значения, то охотник прекращает охоту, так как в противном случае он может погибнуть от истощения. Такая возможность прекращения охоты явно рассматривалась в одном из примеров упорной охоты в работе [4]. Если у охотника достаточно большой ресурс ($R_H > R_{HC}$), то он выполняет следующие действия.

1Н. Если охотник видит антилопу, то он движется прямо к ней.

2Н. Если охотник не видит антилопы, то он с вероятностью P_T находит след антилопы, по следу определяет направление её движения и движется к антилопе.

3Н. Если охотник не выполняет указанные два действия, то охотник, грубо определяя направление к антилопе, движется к ближайшему дереву в этом направлении, надеясь найти там антилопу.

Этап охоты продолжается некоторое время, пока он не закончится. Условия прекращения этапа таковы:

1) Если для всех охотников ресурс оказался

меньше критического ($R_H < R_{HC}$), т.е. все охотники прекращают охоту, то этап заканчивается. В таком случае считается, что этап был неуспешным.

2) Если хотя бы для одного охотника ресурс достаточно большой ($R_H > R_{HC}$), а ресурс антилопы упал до нуля (т.е. антилопа полностью истощилась), то этап прекращается и считается успешным.

3) Если хотя бы один охотник с достаточно большим ресурсом ($R_H > R_{HC}$) настиг антилопу (т.е. охотник и антилопа оказались в одной клетке), то этап прекращается и считается успешным.

После окончания этапа происходит переход к следующему этапу охоты.

Динамика проходимых расстояний и ресурсов таковы.

Расстояния $D_H(t)$, $D_A(t)$, проходимые охотником и антилопой в такт времени t , пропорциональны их ресурсам и равны

$$D_H(t) = k_{DH} R_H(t) \text{ и } D_A(t) = k_{DA} R_A(t),$$

соответственно. Здесь $R_H(t)$ и $R_A(t)$ – текущие ресурсы охотника и антилопы, k_{DH} и k_{DA} – соответствующие коэффициенты пропорциональности.

Расходы ресурса охотника и антилопы в данный такт времени t , во-первых, пропорциональны проходимым ими расстояниям $D_H(t)$ и $D_A(t)$, во-вторых, связаны с нагревом:

$$R_H(t+1) = R_H(t) - k_{RH} D_H(t) - r_{TH},$$

$$R_A(t+1) = R_A(t) - k_{RA} D_A(t) - r_{TA},$$

где k_{RH} и k_{RA} – соответствующие коэффициенты пропорциональности, используемые при учёте расходов ресурсов на движение, r_{TH} и r_{TA} – параметры, учитывающие расходы ресурсов, связанные с нагревом.

Считаем, что охотники могут вести поиск антилопы «широким фронтом». А именно, перед действием 3Н охотник меняет свою x -координату случайным образом на величину, равномерно распределённую в интервале $[-D_X/2, D_X/2]$, где D_X – амплитуда варьирования x -координаты охотника при таком поиске.

Дополнительно каждый охотник оценивал своё расстояние до антилопы и если это расстояние было меньше определённого значения D_S , то он сообщал это расстояние и координаты своей клетки всем другим охотникам. Все охотники получали эти сообщения и если расстояние до антилопы у получающего сообщения было больше, чем у посылающего сообщение, то получающий сообщение охотник перемещался в клетку охотника, передающего сообщение. Таким образом, за счёт передачи и получения таких сообщений и дополнительных перемещений все

охотники перемещались ближе к антилопе.

Отметим, что в книге [4] был охарактеризован пример охоты в небольшом коллективе охотников, аналогичный рассмотренному в настоящей модели.

3. Результаты компьютерного моделирования

3.1. Параметры моделирования

Основные параметры моделирования таковы.

Число охотников в группе $N_H=10$ или $N_H=1$.

Размер мира (в числе клеток): $N_X = 200$, $N_Y = 1000$.

Сторону одной клетки считаем равной 1 (для учёта расстояний в мире).

Ресурсы охотника и антилопы в начале каждого этапа достаточно большие:

$$R_{H0} = R_{A0} = 1.$$

Ресурсы истощения для охотника и антилопы равны 0: $R_{Hmin} = R_{Amin} = 0$.

Коэффициенты пропорциональности, определяющие расстояния, проходимые охотником и антилопой в зависимости от ресурса, равны $k_{DH} = 2$, $k_{DA} = 4$.

Коэффициенты пропорциональности, используемые при учёте расходов ресурсов на движение для охотника и антилопы, равны $k_{RH} = 0.01$, $k_{RA} = 0.02$.

Параметры, учитывающие расходы ресурсов, связанные с нагревом, равны $r_{TH} = 0.01$, $r_{TA} = 0.02$.

Критический уровень ресурса для антилопы, обуславливающий перегрев $R_{AC} = 0.2$.

Добавка к ресурсу антилопы за один такт времени при нахождении её в тени дерева $\delta R_A = 0.02$.

Критический уровень ресурса для охотника $R_{HC} = 0.2$.

Вероятность нахождения охотником следа удалённой антилопы $P_T = 0.3$.

Расстояние видимости между охотником и антилопой составляло $D_V = 5$.

Амплитуда случайного варьирования x -координаты охотника перед действием ЗН составляла $D_X = 10$.

Максимальное расстояние до антилопы для охотника, подающего сигнал другим охотникам о том, что антилопа находится поблизости от него, равно $D_S = 5$.

Некоторые из этих параметров для разных вариантов расчётов могли быть варьированы.

Параметры k_{DH} , k_{DA} , k_{RH} , k_{RA} , r_{TH} , r_{TA} учитывают то, что в начале этапа антилопа движется быстрее охотника, но больше его расходует свой ресурс. Это согласуется с охарактеризованными в [4] наблюдениями.

Как правило, результаты моделирования усреднялись по 10000 (для одного охотника) или по 3000 различным расчётам (для группы охотников). Для группы охотников число различных расчётов было уменьшено из-за ограничения компьютерной памяти.

В начале каждого этапа все охотники помещались в клетку с координатами $I_X = 99$, $I_Y = 49$, а антилопа помещалась в клетку с координатами $I_X = 99$, $I_Y = 52$. В результате такого помещения антилопа сначала убегала от охотников, увеличивая свою y -координату, и охотники, преследуя антилопу, тоже сначала увеличивали свои y -координаты. В дальнейшем также происходило перемещение охотников и антилопы преимущественно вдоль y -координаты. Так как мир «растянут» вдоль y -направления ($N_X = 200$, $N_Y = 1000$), то ни охотники, ни антилопа не выходили за пределы мира.

Отметим, что амплитуда D_X случайного изменения x -координаты охотником перед выполнении действия ЗН довольно большая $D_X = 10$, но так как такое изменение происходит как в положительную, так и отрицательную стороны, то эти изменения не приводили к выходу охотников за пределы рассматриваемого мира.

3.2. Случай одного охотника

Сначала рассмотрим результаты, полученные в случае одного охотника ($N_H = 1$). Качество охоты оценивалось долями успешных и неуспешных этапов охоты. Усреднённые по 10000 различным расчётам эти доли составили: доля успешных этапов охоты $P_S = 0.45$, доля неуспешных этапов охоты $P_{US} = 0.55$. То есть в рассматриваемом случае число успешных этапов охоты было близко к числу неуспешных этапов.

Усреднённые зависимости ресурсов охотника и антилопы от времени представлены на рис. 1.

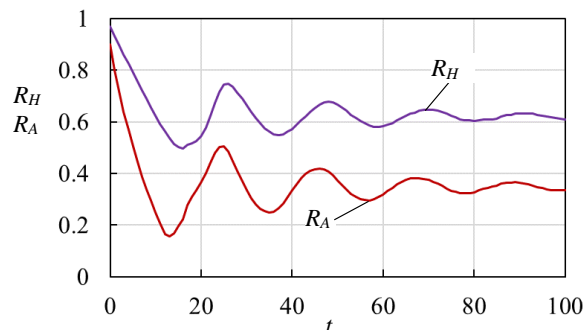


Рис. 1. Зависимости ресурса охотника R_H и антилопы R_A от времени t . Усреднено по 10000 различным расчётам

Отметим, что в настоящей модели рассматривалось общее время для последовательных этапов охоты, т.е. как только один этап заканчивался в момент времени t_E , рассматривался следующий этап, который начинался с момента времени $t_E + 1$. Именно такое общее время для всех последовательных этапов охоты рассматривалось при получении зависимостей переменных от времени t .

Видно (рис. 1), что сначала имеются колебания ресурсов, а затем ресурсы приходят к определённым устойчивым значениям. Хотя начальные ресурсы охотника и антилопы одинаковы (равны 1), в дальнейшем ресурсы охотника превышают ресурсы антилопы. Начальные колебания ресурсов связаны с чередованием этапов охоты (в начале этапа ресурсы равны 1, а затем убывают). В среднем длительность этапа составляла около 20.5 тактов времени.

На рис. 2 представлена зависимость расстояния от охотника до антилопы от времени.

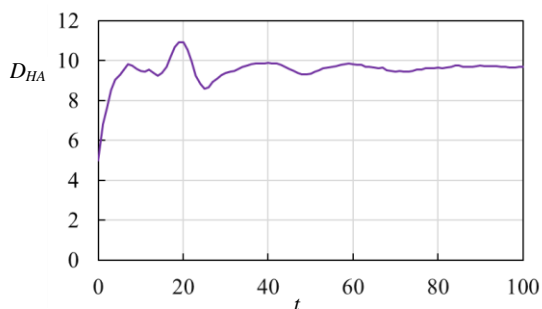


Рис. 2. Зависимость расстояния от охотника до антилопы D_{HA} от времени t . Усреднено по 10000 различным расчётам

3.3. Случай группы охотников

Рассмотрим коллектив взаимодействующих между собой охотников. Охотники могут помогать друг другу, обмениваясь информацией. Число охотников равно 10.

Как сказано выше, если охотник видит недалеко от себя антилопу, то он сообщает это другим охотникам, а также сообщает свои координаты, а другие охотники, находящиеся дальше сообщаящего от антилопы, приходят к нему, т.е. приближаются к антилопе. За счёт такого использования обмена информацией число успешных этапов охоты возрастает. Усреднённые по 3000 различным расчётам доли успешных/неуспешных этапов в этом случае составили: доля успешных этапов охоты $P_S = 0.94$, доля неуспешных этапов охоты $P_{US} = 0.06$. То есть в рассматриваемом случае коллектива сотрудничающих охотников число успешных этапов охоты радикально возрастает по сравнению со случаем одного охотника.

Усреднённые зависимости ресурсов охотников (ресурсы усреднялись как по охотникам, так и по независимым расчётам) и антилопы представлены на рис. 3.

Сопоставляя рис. 1 и рис. 3, видим, что динамики ресурсов в случае одного охотника и группы охотников подобны друг другу. Только в случае группы охотников ресурсы и охотников, и антилопы немного выше, чем в случае одного охотника.

На рис. 4 представлена усреднённая по охотникам зависимость расстояния от охотников до антилопы. Рис. 2, 4 показывают, что в случае группы охотников расстояние между охотниками и антилопой становится меньше, чем аналогичное расстояние в случае отдельного охотника.

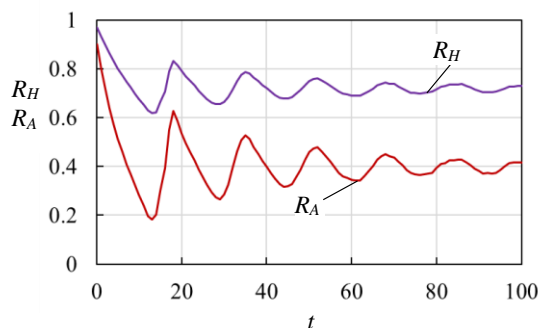


Рис. 3. Зависимости усреднённого ресурса охотников R_H и антилопы R_A от времени t . Усреднено по охотникам и по 3000 различным расчётам

В случае группы охотников средняя длительность этапа охоты составляла 16 тактов времени, т.е. меньше, чем для одного охотника.

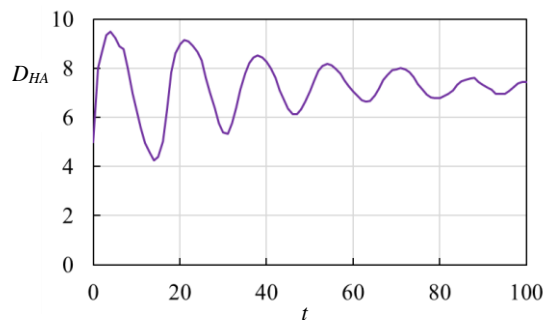


Рис. 4. Зависимость среднего расстояния от охотника до антилопы D_{HA} от времени t . Усреднено по охотникам и по 3000 различным расчётам

3.4. Дополнительные расчёты, обсуждение результатов

Приведённые результаты показывают, что в случае группы охотников охота имеет значительные преимущества по сравнению с одним охотником. Особенно чётко это видно по доле успешных этапов охоты. Для одного

охотника эта доля равна $P_S = 0.45$, для группы охотников эта доля равна $P_S = 0.94$. Конечно, это преимущество частично связано с обменом информацией между охотниками. Отметим, что в рамках настоящей модели для группы охотников был проведён дополнительный расчёт, в котором не было такого обмена между охотниками, в этом случае доля успешных этапов охоты резко уменьшалась (была равна $P_S = 0.72$). Но имеется и ещё один важный аспект: результаты приведенных расчётов получены в предположении, что вероятность нахождения охотником следа удалённой антилопы сравнительно невелика $P_T = 0.3$. За счёт этого охотник с достаточно большой вероятностью совершает действие ЗН, т.е. идёт к ближайшему дереву (в направлении, близком к направлению на антилопу в предыдущие моменты времени). При этом охотник не видит ни антилопы, ни следа антилопы, так как, если бы он видел антилопу или её след, то выполнил бы действие 1Н или 2Н.

Смысл действия ЗН можно интерпретировать следующим образом. Допустим, что охотник достаточно опытный и он довольно часто наблюдал, что антилопа может спастись от жары, находясь некоторое время в тени дерева. Тогда охотник может мысленно сформировать гипотезу: «если я пойду к дереву, то я могу встретить у дерева и антилопу». И он идёт к дереву и довольно часто это ему помогает. Конечно, эта гипотеза интуитивная и вероятностная, тем не менее, она полезная.

Для уточнения роли вероятности нахождения охотником следа удалённой антилопы были проведены два дополнительных варианта расчёта для увеличенной величины этой вероятности: для $P_T = 0.7$ и для $P_T = 1$. Для этих вариантов результаты моделирования усреднялись по 1000 различным расчётам (этого было достаточно для получения достаточно надёжных результатов).

Для $P_T = 0.7$ для одного охотника доли успешных и неуспешных этапов охоты составили: доля успешных этапов охоты $P_S = 0.83$, доля неуспешных этапов охоты $P_{US} = 0.17$. Для группы из 10 охотников эти доли составили: доля успешных этапов охоты $P_S = 0.96$, доля неуспешных этапов охоты $P_{US} = 0.04$. То есть, результаты для группы охотников практически не изменились, а для одного охотника для варианта $P_T = 0.7$ доля успешных этапов охоты резко возросла.

Для варианта $P_T = 1$ след антилопы всегда находился, поэтому действие ЗН вообще не выполнялось, и случайного изменения x - координаты охотниками перед выполнением действия ЗН не происходило, поэтому все

охотники перемещались одинаково и результаты для группы охотников совпали с результатами для одного охотника, причём доля успешных этапов охоты уменьшилась. А именно доля успешных этапов охоты составила $P_S = 0.61$, доля неуспешных этапов охоты была равна $P_{US} = 0.39$.

Также был проведён ещё один дополнительный расчёт для случая одного обучающего на собственном опыте охотника. Рассматривался вариант с вероятностью нахождения следа антилопы $P_T = 0.7$ и вводилась переменная вероятность P_3 выполнения действия ЗН, сначала эта вероятность была малой, но если охотник всё же выполнял действие ЗН и это действие приводило к успеху (приближение к антилопе), то вероятность P_3 выполнения действия ЗН возрастала. И окончательно, в результате обучения вероятность P_3 выполнения действия ЗН (если не выполнялись действия 1Н и 2Н) стала равной 1. То есть обучение приводило к изложенной в настоящей модели схеме применения действий 1Н, 2Н, ЗН.

Итак, результаты дополнительных расчётов подчёркивают важность действия ЗН. И ещё раз акцентируем внимание на интерпретации обоснования этого действия как формирования гипотезы «если пойти к дереву, то там можно встретить в тени антилопу, пополняющую свой ресурс». Выполнение этого действия приводит к увеличению шансов успеха охоты, и тем самым к проверке гипотезы. Формирование и проверка путём использования такой гипотезы в определённом смысле близки к формированию и проверке гипотез в научном познании.

4. Заключение

Таким образом, построена и исследована компьютерная модель формирования и использования знаний в коллективе агентов. Модель анализирует поведение охотников, преследующих антилопу в режиме упорной охоты, охарактеризованном в книге [4]. Особое внимание уделено взаимодействию между агентами-охотниками, обмену информацией между охотниками. При обмене информацией успешные охотники, приблизившиеся к антилопе, сообщают об этом другим охотникам и сообщают также свои координаты. После чего другие охотники перемещаются к этим успешным. Показано, что при таком обмене информацией, охота в коллективе охотников происходит значительно успешнее, чем в случае одного охотника.

Если охотник потерял антилопу из вида и потерял след антилопы, то он перемещается к

ближайшему дереву в том направлении, в котором была ранее антилопа. Такое действие можно интерпретировать как формирование опытным охотником следующей гипотезы «так как антилопа часто останавливается возле деревьев, чтобы отдохнуть и восстановить свой ресурс, следовательно, если я пойду к дереву, то я могу встретить у дерева и антилопу». Использование такой простой гипотезы довольно часто помогает охотнику.

Отметим, что формирование и использование таких гипотез рассматривалось в книге [4] как возникновение предпосылок научного познания. Полученные в настоящей

работе результаты согласуются с высказанными в [4] утверждениями о том, что гипотезы охотников аналогичны гипотезам научного познания.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001 «Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах» (1023032100070-3-1.2.1).

Generation and Use of Knowledge in a Collective of Agents

V. G. Red'ko

Abstract. A computer model of generation and use of information in a collective of agents is constructed and analyzed in the current article. The model is based on observations of persistence hunting on antelope in the hot Kalahari Desert (South Africa), as described in L. Liebenberg's book "The Origin of Science". The model examines the behavior of a group of agents-hunters pursuing an antelope agent. The hunt is conducted unarmed until either the antelope or the hunters are exhausted. The hunters exchange information about their own location and that of the antelope. This information exchange increases the hunting success of the hunting collective. Experienced hunters can form and use simple hypotheses about the location of antelope and their goal-directed actions. The use of such hypotheses leads to increased hunting success. The formation and use of these hypotheses can be viewed as the origin of certain precursors to scientific cognitive processes. The model demonstrates the effectiveness of information exchange and hypothesis formation in a team of hunting agents.

Keywords: precursors of scientific cognition, hunting agents, antelope agents, information exchange between agents, formation and testing of simple hypotheses

Литература

1. И. Кант. Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. Соч. в 6-ти томах. Т. 4, часть 1. М., Мысль, 1965. С. 67–210.
2. В.Г. Редько. Моделирование когнитивной эволюции: На пути к теории эволюционного происхождения мышления. Изд. 2, испр. и доп. М., ЛЕНАНД/URSS, 2019.
3. В.Ф. Турчин. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. Изд. 2-е. М., ЭТС, 2000.
4. L. Liebenberg. The Origin of Science: The Evolutionary Roots of Scientific Reasoning and its Implications for Citizen Science. Cape Town, South Africa, CyberTracker, 2013.

Поступила в редакцию / Received: 11.03.2026.

Поступила после рецензирования / Revised: 18.03.2026.

Принята к печати / Accepted: 23.03.2026.