ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБРАЗ НАУКИ

И.Ф. Михайлов

На круглом столе в Институте философии РАН 19 декабря 2019 г. состоялась дискуссия о возможности идентификации вычислительных процессов в природе, каковая идентификация, в случае успеха, могла бы выступить онтологическим и методологическим основанием когнитивных (нейро)наук. Некоторые участники дискуссии выразили сомнения в приемлемости такого подхода, выдвинув аргументы: вычислительные процессы необходимо имеют дело с символами и составляют часть человеческой целесообразной деятельности. В настоящей статье я анализирую эти аргументы и показываю, что и символизм, и целесообразность как предполагаемые атрибуты вычислений присущи скорее человеческим интерпретациям соответствующих процессов, чем им самим в ходе их выполнения. Здесь же я рассматриваю онтологические и методологические особенности вычислительного подхода в научном познании и показываю, как, благодаря этим особенностям, такой подход может помочь преодолеть ограничения традиционного номологического образа науки в исследовании сложных самоорганизующихся систем.

Ключевые слова: номологический подход, вычислительный подход, вычисление, алгоритм, когнитивная наука, символ, целесообразность, телеология.

COMPUTATIONAL IMAGE OF SCIENCE

I.F. Mikhailov

Within a round table at the Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences in the framework of the seminar 'Interdisciplinary problems of cognitive sciences' on December 19, 2019, a discussion was held on the possibility of identifying computational processes in nature, which identification, if successful, could constitute the ontological and methodological basis of cognitive (neuro)sciences. Some participants in the discussion expressed doubts about relevance of such an approach, putting forward the following arguments: computational processes deal with symbols by perforce and form part of human purposeful activity. In this article, I analyze these arguments and show that both symbolism and purposefulness, as the alleged attributes of computations, are inherent in human interpretations of the corresponding processes rather than in the course of their implementation. Here I also consider the ontological and methodological features of the computational approach to scientific knowledge and show how, owing to these features, this approach can help overcome the limitations of the traditional nomological model of science in the study of complex self-organizing systems.

Key words: nomological approach, computational approach, computation, algorithm, cognitive science, symbol, purposefulness, teleology.

Введение

Настоящая статья написана в продолжение дискуссии о природных вычислениях, состоявшейся 19 декабря 2019 г. в Институте философии РАН на круглом столе «Вычисления в науках о мозге и сознании: атавизм, метафора или эвристика?» [8] в рамках регулярного семинара «Междисциплинарные проблемы когнитивных наук». По результатам обсуждения были написаны и предложены к публикации в «Вопросах философии» три статьи: моя [4], А.В. Родина [6] и В.И. Шалака [7].

Я отстаивал и продолжаю отстаивать идею возможности обнаружения вычислительных процессов в самой природе. В.И. Шалака считает, что в природе существуют алгоритмические процессы, но их нельзя считать вычислительными. Он представил интересный сравнительный анализ номологического и

алгоритмического способов научного объяснения. А.В. Родин полагает, что вычисления и алгоритмы – слишком сильная метафора для естественных процессов, и в их изучении нужно ограничиться старым добрым естествознанием. В его статье, готовой к публикации, также содержится интересная аргументация против неоправданного, по его мнению, компьютеризационизма в естественных науках.

Поскольку эта дискуссия продолжается в устных беседах, я воспользовался случаем, чтобы систематизировать мои контраргументы и изложить их в более или менее связном виде. Хочу выразить скромную надежду, что мои оппоненты также не остановятся на достигнутом. И, конечно же, я был бы рад подключению новых участников к этой дискуссии.

Михайлов Игорь Феликсович – кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии РАН (г. Москва).

Mikhailov Igor Feliksovich – Candidate of Philosophy, Senior Researcher, Institute of Philosophy, Russian Academy of Science (Moscow).

E-mail: ifmikhailov@iph.ras.ru

© Михайлов И.Ф., 2020

Номологический образ науки и его ограничения

Согласно научно-реалистическим представлениям мы живём в мире, где правят законы, открываемые традиционными науками. В этом бесконечном однородном пространстве камень, лишённый опоры, всегда падает под действием силы тяжести, гидроксид натрия, встретившись с соляной кислотой, всегда образует поваренную соль и воду, а товар всегда дорожает, если спрос на него превысил предложение. По широко известному мнению Карла Гемпеля [2], законы, открываемые науками, участвуют в научном объяснении в качестве первой посылки условно-категорического силлогизма:

1. А всегда влечёт Б (*закон*).

2. Имеет место А (*известный факт*). Следовательно,

3. Необходимо имеет место Б (*объясняемый факт*).

Всеобщая форма закона, таким образом, оказывается моделью, порождающей то, что мы называем объяснениями, и обеспечивающей предсказуемость мира – реальную или воображаемую, – которая вызывает чувство комфорта и безопасности у существ, вынужденных искать способы адаптации к не слишком дружественной среде. Если бы эта модель была безошибочной и действительно универсально применимой, развитие науки шло бы по кумулятивной схеме: путём накопления истинных знаний в рамках одной теории в каждой научной дисциплине.

Однако взглянем на объяснение Аристотелем причины землетрясений:

«Но поскольку ясно, как было ранее сказано, что испарения должны возникать и из влажного и из сухого, то и землетрясения являются необходимым следствием существования этих испарений. Сама по себе земля сухая, но из-за дождей в ней содержится много влаги, так что, когда под действием солнца и собственного огня она нагревается, как снаружи, так и в недрах земли образуется много пневмы, а эта [пневма] в одних случаях сплошным [потоком] вся вытекает наружу, в других – вся [направляется] внутрь, а иной раз делится [надвое].

Поскольку же *иначе быть не может* (курсив мой. – И.М.), нам следует, пожалуй, рассмотреть теперь, какое тело более всех других способно быть источником движения» [1: с. 500–501].

Пневма, как мы знаем из других его работ, – это то, кипением чего является огонь. Она опосредует взаимодействие души и тела, она же всегда стремится вверх к родственному ей эфиру. В рамках аристотелевского видения «иначе быть не может» – предложенная им концептуальная схема искренне мыслится им как единственно возможная. Почему же мы с ним не согласны? Позволю себе ещё одну длинную, но многое проясняющую цитату, но уже из нашего современника – Неда Блока:

«У философа-досократика не было бы никакой возможности понять, как тепло может быть видом движения или как свет может быть разновидностью вибрации. Почему? Потому что у философа-досократика не было подходящих концепций движения, а именно понятия кинетической энергии и ее роли, или [понятия] вибрации, т.е. понятий, связанных с волновой теорией света, которые позволили бы осознать, как такие разные понятия могут выражать одно и то же явление. <...> У нас часто есть несколько понятий одного и того же. Понятие света и понятие электромагнитного излучения [в диапазоне] 400–700 нм представляют одно и то же явление. Философу-досократу не хватает понятия света и соответствующей [ему] концепции вибрации (которая требует целой теории). Досократу не достаёт не только теоретического определения, но и осознания того, какие вещи [концептуально] сгруппированы с научной точки зрения» [9: с. 1114–1115]¹.

Точное замечание Блока, конечно, применимо не только к досократикам, но и к Аристотелю, и к нашим современным теориям, наивности которых будут удивляться учёные будущего, если человечество до него доживёт. Последнее соображение указывает на неточность формулировки в последнем предложении цитаты. Аристотелева концепция землетрясений группирует понятия тоже «с научной точки зрения» – точки зрения той науки, которую он создавал. Ведь для того, чтобы увидеть, что «иначе быть может», человечество должно было накопить не только опыт открытых и воспринятых фактов, но и опыт, показывающий возможность других объяснений там, где до тех пор единственное объяснение выглядело безальтернативным.

Но что создаёт эту постоянную возможность другого взгляда? Мы привычно полагаем, что законы традиционной науки появляются как обобщения известных фактов, которые, будучи подтверждены серией экспериментов в разных условиях, становятся неотъемлемой частью картины единого и однородного мира, предсказуемого в своих основных проявлениях. И тогда удачно составленной номологической картине мира достаточно лишь пополняться новыми фактами и изредка – новыми законами, не отменяющими старые. Но реальная история науки выглядит не так.

Заметим, что в качественном рассуждении Аристотеля роль закона (по силлогистической схеме Гемпеля) выполняет универсальное положение, гласящее, что при нагревании влаги должно выделяться большое количество пневмы. И это номологическое высказывание вряд ли можно считать обобщением опыта – откуда у нас может быть опыт

¹ Здесь и далее переводы цитат иноязычных источников выполнены мною. – И.М.

наблюдения ненаблюдаемой по определению субстанции? Но откуда тогда уверенность, что «иначе быть не может»?

Мой ответ уже был изложен в некоторых публикациях [3; 5]. Наука – не важно, античная, средневековая или современная, – помимо фактуальных и теоретических высказываний содержит высказывания о типах объектов, их свойствах и отношениях. Комплекс таких высказываний в каждой научной дисциплине можно назвать *научной онтологией* (далее – онтология). Онтология описывает объектную модель, на которой интерпретируются теоретические и фактуальные высказывания. В отличие от последних её высказывания не корректно оценивать на истинность/ложность – они по природе своей конвенциональны. Именно этого не понимали Аристотель и большинство мыслителей до и после него: высказывание «Пневма есть субстанция сухая и горячая» относится к онтологии и является частью предложенной объектной модели, тогда как высказывание «При нагревании влаги выделяется большое количество пневмы» есть уже высказывание собственно теоретическое и как таковое может быть истинным или ложным – но только в рамках предложенной объектной модели. А высказывание «Пневмы не существует» означает лишь то, что у нас появились более экономные, стройные и рациональные теории, которые «лучше» (в каком-то смысле) объясняют те же и вновь открытые факты, не прибегая при этом к постулированию ненаблюдаемых сущностей².

В качественных теориях, типа аристотелевской, различия собственно теории и онтологии не столь очевидны, как в математизированном естествознании Нового времени. Но даже в рамках последнего далеко не сразу удалось избавиться от унаследованного от греков способа объяснения: если имеет место явление, природа которого неочевидна, естественно предположить существование ненаблюдаемой сущности – носителя свойств, обнаруживаемых в этом явлении. Так, эфир оставался объяснительным принципом в физике и космологии вплоть до начала XX в. По иронии, при том, что специальная теория относительности объясняет результат эксперимента Майкельсона–Морли, не прибегая к постулированию эфира, сам Эйнштейн не только не исключал его существования полностью, но заявлял, что эфир существует, просто не надо понимать его как нечто, состоящее из существующих во времени элементов [11]. Не менее интересные истории связаны с теплородом и флогистом,

но рамки небольшой статьи слишком узки для их подробного разбора³.

Таким образом, история науки знает как случаи, когда противоречащие друг другу теории основывались на одной и той же онтологии, так и противоположные случаи – когда одни и те же теоретические положения считались истинными в рамках разных онтологий (например, как включающих теплород, так и обходящихся без него).

Мы примерно знаем, как науке удалось избавиться от некоторых онтологических излишеств: например от теплорода – объяснив макросостояние термодинамической системы определённой статистикой её микросостояний; или от эфира – предположив, что само пространство обладает физическими свойствами (именно в этом смысле Эйнштейн считал эфир существующим). Прибегая к философским обобщениям, можно было бы сказать, что онтологии упрощаются и избавляются от слишком уж произвольно домысленных сущностей за счёт вытеснения субстанциального подхода функциональным. *Субстанциальный подход* за каждым объективно регистрируемым свойством заставляет предполагать его носителя. *Функциональный подход* допускает, что по крайней мере некоторые из свойств могут возникать как эффекты взаимодействия сущностей, ни одна из которых в отдельности данным свойством не обладает. Так, ни одна из молекул в отдельности не является ни холодной, ни тёплой. Но совокупный статистический результат их движений определяет тепловые свойства состоящего из них тела.

Однако даже сегодняшняя функционализация научных онтологий пока не помогла объяснить существование усложняющихся систем в мире, где, казалось бы, действует второе начало термодинамики и где всё должно развиваться в направлении нарастания энтропии⁴. Как получается, что некоторые материальные системы усложняются, перестраивают свои отношения со средой, получают способность к росту, размножению, передаче наследственной информации, обретают интенциональные свойства, объединяются в сложноорганизованные группы, надстраивают уровни управления и предписывают сами себе правила поведения, не следующие ни из физических, ни из биологических законов?

Мы, например, знаем, что наличие асимметричных атомов углерода создаёт условия для формирования стереоизомеров – органических веществ, чьи физико-химические свойства зависят от простран-

² Возможна ситуация, как указывает А.В. Родин, когда учёный пользуется онтологией, включающей несуществующие, по его мнению, объекты (например, эпициклы орбит), просто потому, что пока нет хорошей замены. Но даже такое предвосхищение не свидетельствует о его/её способности проникать в суть вещей помимо научной абдукции.

³ Подробнее об этом см.: [12; 13; 16; 17].

⁴ Я отдаю себе отчёт в том, что очень лапидарно и поверхностно затрагиваю сложную и в высшей степени дискуссионную тему. Но дальнейшее рассуждение покажет, что изучаемая здесь проблема реальна вне зависимости от тех или иных интерпретаций теоретических вопросов физики.

ственных структур их молекул не в меньшей степени, чем от атомного состава последних. Но что делает неизбежным появление таких молекул, на которых основано всё царство живой природы? Насколько я знаю, пока нет удовлетворительной теории, которая могла бы предложить номологическое объяснение этого перехода, хотя есть гипотезы, отсылающие к специфическим условиям, имевшимся в момент формирования Земли или даже Вселенной.

Я позволю себе предположить, что и здесь, как в случае с досократиками, Аристотелем и многими другими оставленными позади этапами в истории науки, мы имеем дело не с недостатком эмпирических знаний, а с ограничениями, налагаемыми нашими текущими концептуальными схемами.

Два вида объяснений

Оставаясь в рамках нынешних стандартов научности, мы, конечно же, хотели бы избежать какой бы то ни было телеологии в объяснении возрастающей сложности некоторых систем. Если мы не склонны возвращать аристотелевскую энтелехию – а подобные решения как раз относятся к области онтологических обязательств (*commitments*), по Куайну, – то мы должны объяснить эту тенденцию, исходя из текущих условий. Проблема в том, что текущий набор известных законов природы не позволяет сделать это номологически. Тогда мы можем или продолжить искать пока не обнаруженные законы – что, как представляется, и попытались сделать основатели синергетического проекта, – или изменить принцип объяснения.

Объяснение – специфически человеческая процедура, сильно детерминированная психическим строем вида *Homo sapiens*. Причины, по которым нам что-либо становится ясным, что ранее таковым не было, многообразны и не всегда ясны сами по себе. Возможно, наша позитивная реакция на обретенное понимание представляет собой, как и во многих подобных случаях, биологическое вознаграждение за создание новой модели предсказаний возможных изменений важных для жизни обстоятельств. Предсказание возможно там, где имеет место повторяемость. Можно предположить, что на родовом уровне объяснение представляет собой доказательство повторяемости объясняемого. Тогда усматриваются по крайней мере два вида демонстрации повторяемости. Один из них сводится к обнаружению общего правила (закона), которое предопределяет непременно появление интересующего нас явления в определенных обстоятельствах. Как работает этот вид объяснения, мы вкратце обсудили выше.

Но человеку можно объяснить нечто и другим способом – а именно показать, как это можно сделать. Для того, чтобы такая демонстрация служила объяснением, она должна гарантировать, что определенная последовательность действий в опреде-

лённых условиях гарантированно вызовет к жизни наш *explanandum*. Поскольку здесь мы говорим об объяснениях в естественных науках, такой способ объяснения предполагает нахождение правдоподобного схематичного описания того, как природа производит интересующее нас явление.

Схема, описывающая типичную конечную последовательность шагов, на последнем из которых достигается некоторый определённый результат, называется алгоритмом. Рецепт приготовления хека с овощами, правила умножения в столбик, репликация РНК – это всё алгоритмы, вне зависимости от того, кто или что их реализует. Так получилось исторически, что наиболее точное формальное описание алгоритмического процесса было дано в знаменитой статье Алана Тьюринга, посвящённой математической проблеме вычислимых чисел [18]. Поэтому «алгоритм» прочно ассоциируется с «вычислением» в математическом смысле⁵, хотя, например, проезд перекрёстка на автомобиле в соответствии с правилами дорожного движения является алгоритмическим действием, несмотря на то что никакие математические объекты в ходе его не вычисляются. И в природе, и в культуре существует множество алгоритмических процессов, которые не являются математическими вычислениями в привычном понимании и не используют их.

Учитывая это обстоятельство, возникает соблазн остановиться на убеждении, согласно которому все вычислительные процессы являются алгоритмическими, но не наоборот. И многие, если не большинство, на нём и останавливаются. Чтобы утвердиться в правильности такого видения, нужно ясно показать видовые отличия, фиксируемые понятием вычисления, которые соответствующим образом ограничивают объём родового понятия алгоритма. Соответственно, если окажется, что таковые отличия рационально не определимы, то оба понятия придётся считать эквивалентными.

Алгоритмы и вычисления

Интуитивно мы понимаем вычисление как процесс, связанный с решением математических (или, в крайнем случае, логических) задач. Поскольку математика и логика существуют только в человеческой культуре, то, согласно этой традиционной установке, вычислять может только человек или специально созданное им искусственное устройство, физические процессы которого организованы по человеческим алгоритмическим правилам таким образом, что их результат может быть интерпретирован человеком как результат вычислений. Я вижу два принципиальных свойства так понятых вычис-

⁵ На самом деле эта ассоциация состоялась ещё в Средние века благодаря персидскому математику Аль-Хорезми, имя которого в латинской транскрипции превратилось в «алгоритм».

лений: их *символизм* и *телеологию*. Первый предполагает, что по крайней мере предмет вычислительных операций присутствует в процессе будучи выражен в символах – физических формах, обладающих семантикой, т.е. представляющих некое содержание, отличное от них самих. Вторая предполагает, что вычисление определяется не наличными причинами, как ординарный физический процесс, а целью, содержащейся в сознании вычислителя. При этом принципиально важно, что оба свойства не должны быть интерпретируемы в терминах [какой-либо теории] алгоритмов, поскольку в противном случае они теряют свою специфичность как отличительные признаки вычислений.

Итак, предположим, что вычисление в привычном математическом смысле оперирует символами, которые вычислитель должен понимать и интерпретировать, и это обстоятельство *prima facie* отличает его от не-вычислительных алгоритмических процессов. Семиотика Ч.С. Пирса содержит три трихотомии, характеризующие знак: соответственно знак сам по себе, в его отношении к обозначаемому объекту и в его отношении к интерпретатору. В каждой из трихотомий (если опустить собственную тяжеловесную терминологию Пирса) знаки подразделяются на обозначающие через качество, через уникальное существование и через правило, т.е. конвенционально. Собственно символ есть третий член второй трихотомии, т.е. «знак, относящийся к объекту, который он обозначает в силу закона, обычно ассоциации общих идей, которая действует, чтобы заставить символ интерпретироваться как относящийся к этому объекту. Таким образом, он сам является общим типом или законом, то есть – легисайном⁶» [15: с. 102].

Приняв эту концептуальную систему, мы должны далее исходить из того, что вычисления в привычном смысле, в отличие от прочих алгоритмических процессов, оперируют со своими предметами – символами – как с типами, а не уникальными единичными сущностями («репликами», в терминологии Пирса), и, кроме того, семантика этих символов связана с ними в силу «закона», т.е. соглашения интерпретаторов.

Полемизируя с идеей натурализации вычислений, схожую мысль высказывает Андрей Родин [6], опираясь на известное различие *типа* и *токена* (*type/token distinction*), также восходящее к Пирсу. По его мнению, символы в вычислениях присутствуют и обрабатываются как *типы*, а не как *токе-ны* – последнее характерно для не-вычислительных процессов.

Буква «А» как таковая является всегда тождественным себе *типом*, тогда как каждое её единичное

воплощение – *токен* – может отличаться регистром (заглавная/строчная), шрифтом, особенностями почерка в рукописном написании, цветом чернил, положением на странице и т.п. И алгоритмы, которые мы интуитивно рассматриваем как вычислительные, должны – согласно этой позиции – оперировать с символами как с типами. Это обстоятельство концептуально связано с их семантическими свойствами – значение символа не должно зависеть от особенностей его физического воплощения. Если мы принимаем этот аргумент в комплексе (символ как тип плюс семантика), мы обязаны признать нетождественность алгоритмических и вычислительных процессов. Однако этот аргумент работает только в том случае, если сами эти видовые особенности вычислений имеют неалгоритмическую природу.

Люди старшего поколения помнят, что в прошлом веке, когда нам нужно было отправить бумажное письмо обычной почтой, нам настоятельно советовали заполнить специальный пунктирный шаблон цифрами почтового индекса определённой геометрической формы, образцы которой для каждой цифры были в качестве подсказки изображены рядом на конверте. Предполагалось, что в почтовых отделениях наши конверты должны были автоматически сортироваться с помощью специального сканера, и это должно было значительно ускорять их доставку⁷. Очевидно, что технологии тех лет могли гарантировать правильное распознавание символа только при условии его специальной нормализации, т.е. целенаправленного устранения каких бы то ни было различий типа и токена (или «реплики»). Возможно возражение: эта машина не была вычислительной в строгом смысле. Я не уверен: она должна была уметь совершать по крайней мере одну вычислительную операцию: различать значение цифр в зависимости от регистра. Первые три цифры индекса кодировали регион, вторые – номер почтового отделения, и сортировка должна была осуществляться иерархически. И, фактически, через операции с нормализованными, но всё же – токенами.

Возьмём для примера современные компьютеры, в вычислительном статусе которых никто не усомнится. Согласно общему мнению язык, понятный компьютеру, – это двоичное исчисление, использующее только символы «1» и «0». Однако в реальном «железе» эти символы хранятся и обрабатываются в виде определённых значений электрического напряжения в ячейках памяти [10: с. 356]. Для человека эти значения также являются типами, но для железного устройства это всего лишь конкретные свойства конкретных его частей, в зависимости от

⁶ Легисайн – третий член первой трихотомии Пирса, также определяемый через конвенциональность.

⁷ Очевидцы утверждают, что в реальности эти сканеры чаще всего стояли сломанные или вовсе отсутствовали, поэтому сортировка всё равно осуществлялась вручную. В этом примере *токен* хорошо отражается суть советской жизни как *типа*.

которых открываются те или иные логические вентили. Таким образом, различие типа/токена имеет место скорее в интерпретации вычислительного процесса, а не в его осуществлении, будь то сортировка писем, работа компьютера или, может быть, даже электрохимические процессы в мозге.

Вместе с тем это различие обретает важность в такой, несомненно, вычислительной задаче, как распознавание письменного текста. Именно здесь компьютер должен суметь абстрагироваться от конкретных физических особенностей реплик символов и точно идентифицировать их тип, независимо от написания. Насколько мне известно, эта задача оказалась решаемой только с помощью компьютеров, реализующих статистические алгоритмы – искусственные нейросети или другие системы машинного обучения, – т.е. машин, специально обученных этой странной для них задаче. Рискну предположить, что различие типа/токена имеет значение только для человека как биокомпьютера, использующего крайне несовершенные и энергетически неэффективные интерфейсы сетевого общения – зрение, слух, руки и гортань с языком. Малая пригодность этих устройств, созданных эволюцией с другими целями⁸, для реализации эффективных сетевых протоколов создаёт ситуацию, когда единицы информации порождаются с сильными отклонениями от своей нормальной формы, и получатель сообщения должен быть специально обучен энергоёмкому искусству её восстановления. Которое – восстановление – также есть алгоритмический процесс.

Вкратце этот аргумент можно резюмировать следующим образом. У нас есть утверждение, что вычисление оперирует с единицами обрабатываемой информации как с типами, а не токенами, и именно поэтому они являются символами в соответствии с определением Пирса. Я привожу пример сканера конвертов, который, очевидно, является вычислительным устройством, поскольку различает регистры цифр на конверте и сортирует их иерархически. Но его успешная работа может быть нарушена из-за малейшего отклонения физической формы символа от заданной нормы, т.е. из-за любого индивидуального отличия. Если некий тип включает *все* особенности объекта как типические, то само понятие типа теряет смысл. Например, если у вас есть устройство распознавания лиц на входе в золотохранилище, и оно позитивно реагирует только на исчерпывающий набор отличительных черт определённого лица, то доступ в хранилище будет только у одного определённого человека – токена. Разница заключается в том, что исчерпывающим образом описанное лицо – без применения клонирования – в

природе встречается один только раз, а письменный знак, исчерпывающим образом определённый, может быть повторен сколько угодно – как, например, факсимиле. Таким образом, возможен вычислительный процесс, работающий со входными данными как с токенами, а следовательно, символизм не является необходимым свойством вычислений.

Более того, искусственные вычислительные устройства, способные идентифицировать тип в многообразных токенах (буквах или лицах), появились очень недавно и используют такие сложные статистические алгоритмы, что машине Тьюринга, чтобы сегодня закончить это вычисление, пришлось бы начать его в момент Большого Взрыва⁹.

То же можно сказать о семантике. Владимир Шалак в готовящейся к публикации статье [7] предложил очень хороший модельный пример алгоритмического процесса – Золушка, перебирающая зёрнышки. Во-первых, конечно, зёрнышки в этом процессе выступают не как символы-типы, а как носители качеств «хорошее/плохое», т.е. как квалисайны¹⁰ в терминологии Пирса. Но если мы захотим, чтобы Золушка не только выполняла хозяйственную задачу в интересах мачехи, но и развлекала себя интересной сказкой с помощью того же занятия, мы можем помимо означенных качеств ввести дополнительные пары свойств «большое/маленькое» и, например, «ячменное/овсяное». Нам следует также спроектировать устройство, которое будет ассоциировать один набор указанных качеств с образом принца, другой – с образом тыквы, третий – с образом превращения и т.д. Тогда, изменив определённым образом алгоритм сортировки зёрен, мы превратим скучное занятие в занятное повествование. Но самое главное – мы покажем, что и приписывание значений физическим объектам тоже есть процесс алгоритмический.

Итак, аргумент от символизма вычислений уже не стоит на пути отождествления их как класса с классом алгоритмических процессов. Рассмотрим аргумент от телеологии.

Подобно различию типа/токена целеполагание может быть внутренне присуще алгоритмической системе, но может быть и частью внешней интерпретации. Внешнюю телеологическую интерпретацию можно приписать и вполне физическому невычислительному процессу: например, река меняет русло, *чтобы соответствовать* изменившемуся

⁸ Оговорюсь: это метафора, не предполагающая телеологической интерпретации эволюции.

⁹ То есть, чтобы не просто описать это вычисление (как тип), а реально заменить собою действующую нейросеть. Это, кстати, к вопросу о критериях отождествления вычислительных процессов как одного и того же, который я получил от Андрея Родина при подготовке этого текста: отождествляются ли они как токены или всё же как типы. Крайне интересный вопрос, требующий отдельного исследования.

¹⁰ Следовательно, никак не символы.

рельефу местности. В научной картине мира мы стараемся избегать телеологии, поэтому, если она внутренне присуща вычислительным процессам, то они не должны быть обнаруживаемы в природе. Мы можем приписывать телеологию любым природным процессам в модальности «как если бы». Река меняет русло, как если бы стремилась соответствовать рельефу, пчела облетает цветы, как если бы хотела помочь их оплодотворению¹¹ и т.п. Искусственная нейросеть пересчитывает веса межнейронных связей, как если бы старалась научиться правильно различать письменные символы... Уместно ли употребление сослагательного наклонения в последнем случае? А если это естественная нейросеть? Мальчик дёргает девочку за косички, как если бы хотел ей понравиться... В какой момент употребление «как если бы» становится излишним? Существует ли качественная граница (где-либо вообще и в частности) между бессознательным автоматизмом и сознательным целеполаганием, или здесь (как и везде) можно говорить только о постепенных количественных переходах?

Правильный ответ представляется следующим: сознательное целеполагание реализуется вспомогательными вычислительными процессами, сопряжёнными с основными. Эти вспомогательные процессы различаются по степени «сознательности» и выполняют функцию дополнительного внешнего контроля. Внутренняя (сопряжённая) телеологичность не делает контролируемый процесс более вычислительным, чем тот был до её подключения и, следовательно, не может быть видовым признаком, выделяющим подмножество вычислительных процессов на множестве процессов алгоритмических.

Если этот вывод верен, как и представляется мне, то смысл эпохальной статьи Тьюринга состоит в следующем: реальная или воображаемая машина, способная воспроизвести некий процесс, есть индикатор того, является ли данный процесс вычислением. «Машина» — это как раз то, что противостоит природной энтропии. Для того, чтобы воспроизвести падение камня, машина не нужна. Золушка, перебирающая зёрнышки, — ничуть не худшая машина Тьюринга, чем *a*-машина, описанная в его статье¹².

Может быть, стоит признать, что «алгоритм», «вычисление», «машина» и «автомат» в каком-то отношении представляют синонимический ряд. И природа тоже умеет создавать машины.

Напротив, если вычисления необходимо предполагают участие сознания — в виде целеполагания или как-то ещё, — то на вычислительной когнитивной

науке можно ставить крест, ибо тогда *explanandum* содержится в *explanans* (как, собственно, и было на заре её формирования). Но после появления коннекционизма и, далее, искусственных нейросетей, как и всего множества био-вдохновлённых¹³ вычислительных технологий, понятия субсимвольных, а потом и натуральных вычислений, кажется, смогли внести некоторую концептуальную ясность.

Немного об этимологии

Причина трудностей с акцепцией вычислительного подхода к естественным процессам в российской академической среде кроется, в том числе, в специфике русского языка: у нас нет адекватного перевода латинского *computatio*¹⁴. У нас есть только «вы-числе-ние», понимаемое, таким образом, как то, чем занимаются математики и специально созданные ими машины¹⁵. Вычислительный же подход предполагает продемонстрировать, что, по крайней мере иногда, этим занимается сама природа, и мы — как её дети и её часть.

Продолжая этимологическую аргументацию, надо отметить, что и в другом латинском варианте «вычислений» — *calculatio* — также нет «чисел» и «функций». Там есть только пифагорейская «галька» (*calculus*¹⁶), которую кротонские математики использовали как способ репрезентации чисел. Но нет никакой необходимости и это слово ограничивать арифметическим значением. В американском жаргоне 1950-х *'I calculate'* означало «я полагаю». Поэтому приверженность многих математиков и философов сугубо численному пониманию термина «вычисления» можно рассматривать как психологическую инерцию и дань традиции.

Заключительные замечания

В номологическом видении мы приписываем природе «законы», а в алгоритмическом — «правила». Философская интуиция подсказывает, что, как и априорные формы Канта, всё это есть только на нашей стороне. Нам удобно (или нет) описывать мир, как если бы законы и правила в нём существовали. И тогда нет метафизической разницы между номологическим и алгоритмическим подходом. Это инструменты — как отвёртка и плоскогубцы, — между которыми мы выбираем, сравнивая успешность их применения к определённому набору объясняемых фактов.

¹³ Имеется в виду общепринятый англоязычный термин *'bio-inspired'*.

¹⁴ Этимология — не лучший способ аргументации, но всё же: *'putare'* (лат.) — «думать», *'com-'* — «со-», приставка, выражающая совместность. Я полагаю, что здесь не обязательно имеется в виду «совместное думание», а скорее комплексный вывод с учётом всех данных и соподчинённых процессов.

¹⁵ Однако, по мнению, в частности, В.А. Воеводского, современная математика значительно более удалена от «числа», чем элементарная, поскольку её универсальным языком является теория множеств [19].

¹⁶ Тот же корень — в слове «кальций».

¹¹ Кстати, было бы интересно представить систему «пчел-цветы» как вычислительную.

¹² Может быть, даже чуть лучшая благодаря дополнительному контролю со стороны «целеполагания».

В принципе и падение камня можно описать с помощью машины Тьюринга, но это будет откручиванием самореза плоскогубцами. А когда мы говорим «алгоритмы реализуются в физических системах», мы всего лишь имеем в виду, что абстрактно конструированные нами правилосообразные последовательности действий нам надо как-то интерпретировать на материале наших чувственных впечатлений, чтобы строить собственное поведение. И когда мы говорим «алгоритмическое действие запускает действие физического закона», мы всего лишь имеем в виду, что «физическую» часть нашей машины нет смысла описывать алгоритмически, поскольку до сих пор на этом уровне неплохо работало номологическое объяснение. Наука в большей степени зависит от культуры, привычек и случайно сформировавшихся традиций, чем мы иногда думаем.

Законы природы формулируются или как качественные онтологические принципы – например закон сохранения, – или в виде аналитических уравнений. В частных случаях они предписывают, например, некоторым типовым объектам скорость и траекторию движения, направление изменений, строго определённые следствия при наличии строго определённого набора причин. В общем виде они накладывают количественные ограничения на множество возможных миров: из позиции субъекта, «знающего» данный закон, достижимы только некоторые определённые возможные миры, а их многочисленные альтернативы – не достижимы.

Напротив, вычислительный подход предполагает взгляд на предмет исследования как на систему, осуществляющую вычислительные процессы. Возвращаясь к теме научных онтологий, преимущество этого подхода состоит также и в том, что вычислительное объяснение может быть основано на более простой и формальной онтологии, не предполагающей глубокого проникновения в «природу вещей». Вычислительная онтология в идеале состоит из «вычислительных примитивов» [14] – абстрактных узлов машины, выполняющих элементарные вычислительные операции.

Очевидно, что эти подходы не взаимозаменяемы: с одной стороны, далеко не всякую систему или процесс есть смысл рассматривать как вычислительные хотя бы в каком-то смысле, а с другой – законы природы, конечно, налагают ограничения на множество возможных реализаций вычислительных алгоритмов. Но в то же время нельзя не отметить, что вычислительная интерпретация даёт определённую надежду на строгий формальный подход к исследованию вещей и процессов, – таких как жизнь, сознание, мораль и социальность, – перед которыми номологический взгляд останавливается в недоумении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристотель*. Метеорологика / Аристотель // Аристотель. Сочинения в четырёх томах. – Москва : Мысль, 1981. – С. 441–558.
2. *Гемпель, К.Г.* Логика объяснения / К.Г. Гемпель. – Москва : Дом интеллектуальной книги, 1998. – 237 с.
3. *Михайлов, И.Ф.* К общей онтологии когнитивных и социальных наук / И.Ф. Михайлов // Философия науки и техники. – 2017. – № 2. – С. 103–119.
4. *Михайлов, И.Ф.* Когнитивные вычисления и социальная организация / И.Ф. Михайлов // Вопросы философии. – 2020. – № 8. – С. 47–57.
5. *Михайлов, И.Ф.* Прошло ли время философии? / И.Ф. Михайлов // Вопросы философии. – 2019. – № 1. – С. 15–25.
6. *Родин, А.В.* Вычисления в природе и природа вычислений / А.В. Родин // Вопросы философии. – 2020. – № 8. – С. 58–63.
7. *Шалак, В.И.* Алгоритмические явления в природе: модель объяснения / В.И. Шалак // Вопросы философии. – 2020. – № 8. – С. 64–72.
8. *Шалак, В.И.* Круглый стол «Вычисления в науках о мозге и сознании: атавизм, метафора или эвристика?» (19 декабря 2019 г.) / В.И. Шалак // Междисциплинарные проблемы когнитивных наук / Институт философии РАН. 2019. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Oy7r3ZQuzHY> (дата обращения: 14.04.2020).
9. *Block, N.* Comparing the major theories of consciousness / N. Block // The Cognitive Neurosciences. IV / Ed. by M.S. Gazzaniga. – MIT Press, 2009. – P. 1111–1122.
10. *Copeland, B.J.* What is computation? / B.J. Copeland // Synthese. – 1996. – Т. 108, № 3. – P. 335–359.
11. *Einstein, A.* Ether and the Theory of Relativity / A. Einstein. – URL: http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Extras/Einstein_ether.html (accessed: 12.04.2020).
12. *Kargon, R.* The Decline of the Caloric Theory of Heat: A Case Study / R. Kargon // Centaurus. – 1964. – Vol. 10, № 1. – P. 35–39.
13. *Ladyman, J.* Structural realism versus standard scientific realism: The case of phlogiston and dephlogisticated air / J. Ladyman // Synthese. – Springer, 2011. – Vol. 180, № 2. – P. 87–101.
14. *Marcus, G.* The atoms of neural computation / G. Marcus, A. Marblestone, T. Dean // Science. – 2014. – Vol. 346, № 6209. – P. 551–552.
15. *Pierce, C.S.* Logic as Semiotic: the Theory of Signs / C.S. Pierce // Philosophical Writings of Peirce / Ed. by J. Buchler. – New York : Dover Publications, Inc., 2011. – P. 98–119.
16. *Schurz, G.* Structural correspondence, indirect reference, and partial truth: Phlogiston theory and Newtonian mechanics / G. Schurz // Synthese. – Springer, 2011. – Vol. 180, № 2. – P. 103–120.
17. *Šesták, J.* Contribution by Lazare and Sadi Carnot to the caloric theory of heat and its inspirative role in thermodynamics / J. Šesták, J.J. Mares, P. Hubík, I. Proks // Journal of Thermal Analysis Calorimetry. – 2009. – Vol. 97, № 2. – P. 679–683.
18. *Turing, A.M.* On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem / A.M. Turing // Proc. London Math. Soc. – 1937.
19. *Voevodsky, V.A.* Mathematics and the outside world / V.A. Voevodsky // Plenary lecture at AMS-India meeting, Bangalore, Dec. 17–20 2003. – URL: https://www.math.ias.edu/vladimir/sites/math.ias.edu/vladimir/files/Maths_and_the_outside_world.pdf (accessed: 07.04.2020).