



ПРЕОДОЛЕТЬ КУНА: О НЕКОТОРЫХ ПРЕДПОСЫЛКАХ РАССМОТРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕВОЛЮЦИИ КАК РЕВОЛЮЦИИ В МАТЕМАТИКЕ

Шапошников Владислав Алексеевич – кандидат философских наук, доцент. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119991, ГСП-1, Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 4;
e-mail: shaposhnikov@philos.msu.ru



Статья посвящена новой исследовательской оптике в философии науки, развитие которой в 1980–90-е гг. позволяет посмотреть на параллельно происходившую компьютерную революцию как на революцию в математике. Огромная популярность концепции научных революций Т. Куна сделала неизбежной потребность в преодолении ее во многих отношениях. В статье выделено два таких направления: смещение внимания с теоретических на инструментальные и с локальных («малых») на глобальные («большие») революции. Компьютерная революция рассматривается как характерный пример глобальной инструментальной научной революции. Эти изменения ракурса в посткуновской трактовке научных революций коррелятивны общей тенденции, состоящей в переходе к более плюралистическому и трансдисциплинарному образу науки, в частности, не поощряющему отрыв математики от других наук. Этот новый образ создает подходящие условия для распознавания материально-технических революций в истории математики. В частности, компьютерная революция может быть увидена как революция в математике *par excellence*.

Ключевые слова: философия математики, философия математической практики, революции в математике, компьютерная революция, плюрализм в науке, Т. Кун, П. Галисон, Я. Хакин

TO OUTDO KUHN: ON SOME PREREQUISITES FOR TREATING THE COMPUTER REVOLUTION AS A REVOLUTION IN MATHEMATICS

Vladislav A. Shaposhnikov – CSc in Philosophy, associate professor.

The paper deals with some conceptual trends in the philosophy of science of the 1980–90s, which being evolved simultaneously with the computer revolution, make room for treating it as a revolution in mathematics. The immense and widespread popularity of Thomas Kuhn's theory of scientific revolutions had made a demand for overcoming this theory, at least in some aspects, just inevitable. Two of such aspects are brought into focus in this paper. Firstly, it is the shift from theoretical to instrumental revolutions which are sometimes called "Galisonian revolutions" after Peter Galison. Secondly, it is the shift from local ("little") to global ("big") scientific revolutions now connected with the name of Ian Hacking; such global, transdisciplinary revolutions are at times



Lomonosov Moscow State University,
27/4 Lomonosovsky Av.,
Moscow, GSP-1, 119991,
Russian Federation;
e-mail: shaposhnikov@
philos.msu.ru

called “Hacking-type revolutions”. The computer revolution provides a typical example of both global and instrumental revolutions. That change of accents in the post-Kuhnian perspective on scientific revolutions was closely correlated with the general tendency to treat science as far more pluralistic and transdisciplinary. That tendency is primarily associated with the so-called Stanford School; Peter Galison and Ian Hacking are often seen as its representatives. In particular, that new image of science gave no support to a clear-cut separation of mathematics from other sciences. Moreover, it has formed prerequisites for the recognition of material and technical revolutions in the history of mathematics. Especially, the computer revolution can be considered in the new framework as a revolution in mathematics par excellence.

Keywords: philosophy of mathematics, philosophy of mathematical practice, revolutions in mathematics, the computer revolution, pluralism in science, T.S. Kuhn, Peter Galison, Ian Hacking

Наступление некалендарного XXI в. (рубеж 1980–90-х гг.)¹ ознаменовалось компьютерной или цифровой революцией. Новая эпоха определяется повсеместным распространением и использованием персональных компьютеров со стабильным доступом к Интернету, а также ряда других цифровых технологий². В этой статье меня будет занимать вопрос о том, в какой мере и на каком основании компьютерную революцию можно рассматривать как революцию в математике. Главное внимание будет уделено построению мостика: ведь «революции в математике» естественно понимать как частный случай «научных революций», а последние мы привыкли ассоциировать, главным образом, с концепцией развития науки Томаса Куна, ничего напрямую не говорящей о технологической и технической сферах, с которыми естественно связывать «компьютерную революцию».

От куновских к галисоновским революциям

Теоретики социально-политических революций подчеркивают их разнообразие, которое затрудняет подведение всех исторических событий, заслуживающих названия «революция» (а набор их, надо

¹ Ср. сделавшийся популярным благодаря Эрику Хобсбауму термин «короткий двадцатый век». «Короткий двадцатый век» Хобсбаума завершается распадом Советского Союза в 1991 г.

² В настоящей статье я позволю себе не останавливаться на различии возможных здесь смысловых оттенков. Отмечу лишь, что «цифровой взрыв» 1980-х и 1990-х был подготовлен в предшествующие десятилетия начиная, по крайней мере, со времени Второй мировой войны. См., например [Ceruzzi, 2003/1998].



сказать, регулярно пополняется), под единое определение [Goldstone, 2001, pp. 140–142; Goldstone, 2014, pp. 3–9]. За период с 1920–30-х годов до настоящего времени сменили друг друга, по мнению специалистов, уже четыре поколения теорий революционного изменения жизни общества, и этот процесс продолжается [Goldstone, 2001; Lawson, 2016]. Таким богатством разработки и динамичностью теория интеллектуальных революций и, в частности, революций в науке, по-видимому, похвастаться не может. В этой области обсуждения по-прежнему вращаются, главным образом, вокруг книги Т. Куна «Структура научных революций», впервые изданной еще в 1962 г. Интерес к куновскому пониманию научных революций получил новый толчок после преждевременного ухода из жизни ее автора в 1996 г., а затем в связи с полувековым юбилеем ее первого появления в свет в 2012 г. [Nickles, 2017]. Однако и здесь в последнее время наметилась явная тенденция выделять *различные типы* научных революций и переходить к *посткуновскому* их пониманию³.

К четвертому (юбилейному) изданию «Структуры научных революций» предисловие написал широко известный канадский философ Ян Хакинг [Hacking, 2012a]. Направленность его критики в адрес концепции Куна характерна для так называемой *стэнфордской школы в философии науки*, к которой его относят наряду с Нэнси Картрайт, Джоном Дюпре, Питером Галисоном и Патриком Суппесом [Cat, 2017, sec. 5.1]. Представители школы, в первую очередь Питер Галисон, выделяют три параллельные и в значительной степени автономные традиции научного исследования: *теоретическую, экспериментальную и инструментальную*⁴. Кун же, считает Хакинг, подобно многим своим предшественникам и современникам, «полагал, что главная деятельность в науке носит теоретический характер», а, следовательно, недооценивал экспериментальную и, в особенности, инструментальную составляющую науки. «Огромная экспериментальная или инструментальная новизна попросту оказывается упущенной из виду в рамках исключительно теоретической установки Куна, так что нормальная наука может нести с собой много нового,

³ В России эти тенденции мало востребованы. Сошлюсь на показательное мнение Д.Н. Дроздовой: «Хотя теория Куна была воспринята с большим энтузиазмом, недавние обсуждения, посвященные 50-летию выхода “Структуры научных революций”, показали, что, возможно, в России ценят Куна больше, чем на Западе. В частности, звучали разговоры о том, что Куна мало читают и на самом деле к нему редко обращаются. Для нас это выглядит странно, потому [что] теория научных революций [Куна], переработанная в советских и российских учебниках, стала практически официальной» [Drozдова, 2015].

⁴ Указанная автономия, конечно же, не отменяет наличия постоянного и взаимовыгодного взаимодействия этих традиций, которое Галисон описывает с помощью метафоры «зон обмена (trading zones)». Хакинг ссылается на книгу Галисона «Как заканчиваются эксперименты» [Galison, 1987].



просто не в теоретической области» [Hacking, 2012a, pp. xvi–xvii]. Да и сама наука с того времени, когда Кун задумывал и писал свою книгу, существенно изменилась: в качестве образца науки теперь рассматривают скорее биологию, чем физику, а кроме того, произошла *компьютерная революция*: мы не можем не учитывать, «что компьютер сделал с практикой науки». «Тем самым, – с некоторой предосторожностью заключает Хакинг, – “Структура научных революций” может оказаться – я не говорю, что окажется – более релевантной для прошедшей эпохи в истории науки, чем для наук, какими они практикуются сегодня» [ibid., pp. ix–x].

Дэвис Бэрд, выпускник Стэнфордского университета, защитивший в 1981 г. PhD под руководством Яна Хакинга, сделал решительную попытку переключить внимание исследователей с научных *теорий* на научные *инструменты*. Итогом его более чем десятилетних усилий стала книга «Вещное знание: философия научных инструментов» [Baird, 2004]. Главный модельный пример Бэрда – радикальные изменения в аналитической химии в середине XX в.

Известный физик-теоретик Фримен Дайсон, так же как и Ян Хакинг, предлагает дополнить Куна концепцией Галисона⁵, видя в их подходах выражение двух типов науки (Galisonian science vs. Kuhnian science), противостояние и конкуренция которых существовали уже в 1950-х и продолжают существовать в 2010-х. «Куновская» наука делает ставку на теоретический прорыв благодаря внезапному озарению и новым *идеям*, в то время как «галисоновская» наука – на трудоемкие экспериментальные исследования, которые становятся возможными благодаря новым технологиям и *инструментам*. Дайсон пишет: «Вообще говоря, первая половина двадцатого столетия принадлежала Куну, а вторая половина – Галисону. Кун и Галисон – оба превосходные историки, но каждый из них изображает неполный и предвзятый образ науки (a partial view of science). Мы нуждаемся в обоих, чтобы получить полную картину» [Dyson, 2012, p. 1426].

Одним из заметных явлений последних лет стала книга британского историка Дэвида Вуттона «Изобретение науки» [Wootton, 2015]. В ней автор выступает против попыток растворить единственную и неповторимую великую научную революцию XVII в. в сложной и запутанной картине становления и трансформации современной науки. Однако основной недостаток его подхода, как отмечает в меткой рецензии на его книгу американский историк науки Лоран Дастон, состоит в том, что «он основан исключительно на анализе текстов (it is all about texts)» [Daston, 2015]. Он недооценивает важность того, как бегло упомянутые им практики, подобные технике двойной записи в бухгалтерском учете (дебет и кредит) или приемам

⁵ Дайсон предлагает рядом со «Структурой научных революций» Куна поставить «Образ и логику» Галисона [Galison, 1997].



достижения высоких температур в стеклоплавильном ремесле, были творчески применены для новых целей. В итоге упускаются из виду как преемство нового знания со старым, так и яркая его оригинальность в порождении гибридов, сплавляющих воедино научные и практические навыки (*in hybridising scholarly and practical skills*). С точки зрения Дастон, Вуттон переоценивает также степень кумулятивности развития научного знания после события «большого взрыва», имевшего место в XVII столетии. «Современное компьютерное моделирование, – заключает она свою рецензию, – представляет собой не менее инновационное преобразование научной практики, чем эксперименты семнадцатого века. Наука не была изобретена лишь однажды, но изобретается все вновь и вновь: она есть модель не только прогресса, но и такого предприятия, которое всегда остается чем-то еще не завершенным (*the model not only of progress, but work in progress*)» [Daston, 2015].

Хакинг и Дастон, конечно же, не случайно вспоминают про компьютеры. Компьютерная революция – первым и главным образом, *инструментальная* революция, и лишь затем она постепенно меняет как практику эксперимента, так и теорию. Причем теорию, по-видимому, – в последнюю очередь. Следовательно, если мы хотим учесть революционный характер производимых ею изменений в науке, нам нужно понимание научной революции, которое *отличается* от предложенного Куном.

От куновских к хакинговским революциям

Ян Хакинг в свое время противопоставил «*большие (big)*» и «*малые (little)*» революции [Hacking, 1983, p. 9; Hacking, 1987]. Он напоминает, что Кун в своей знаменитой книге строит теорию революций, которые происходят в весьма ограниченной области, их дисциплинарная матрица может объединять менее ста человек⁶. Однако бывают научные революции, которые представляют собой события глобального масштаба, охватывающие большое число дисциплин и сопряженные с радикальными институциональными преобразованиями. Они могут охватывать также большие периоды времени. К таким «*большим*» научным революциям следует, по-видимому, относить как научную революцию XVII в., так и математизацию «*бэконнианских*» наук в первой половине XIX в. (то, что Кун называл «*второй научной революцией*» [Kuhn, 1977, pp. 18, 220, 147]). Такой была и «*вероятностная революция (the probabilistic revolution)*», имевшая место в 1800–1930-х гг., которую сам Хакинг подробно

⁶ Т. Кун сам говорит об этом в «Добавлении 1969 г.» [Kuhn, 2012, pp. 176–177].



исследовал. Он посвятил ей две книги – «Возникновение вероятности» (1975) и «Приручение случая» (1990)⁷.

Опираясь на работы Яна Хакинга, известный американский физик-теоретик Сэм (Сильван Самюэл) Швебер предложил обозначить различие между «малыми» и «большими» научными революциями как различие *научных революций* «куновского» и «хакинговского» типов (Kuhnian vs. Hacking-Type or HT revolutions) [Schweber & Wächter, 2000]. Последние являются мультидисциплинарными, изменяя широкий спектр научных практик, а также порождая соответствующие новым практикам социальные институты и существенные сдвиги в общем мировосприятии. К такого типа революциям относится, согласно Швеберу, квантовая революция [Schweber, 2016; 2015]; а также – инициированная Второй мировой войной революция в управлении (management science), основанная на исследовании операций и теории игр, включая математические методы линейного и нелинейного программирования.

Есть все основания полагать, что *компьютерная революция* – это не только «инструментальная» революция (революция «галисоновского» типа), но и «большая» революция (революция «хакинговского» типа). Швебер и Вахтер утверждают именно это: «Мы являемся свидетелями еще одной революции “хакинговского” типа, в которой компьютер – центральный элемент, в том же смысле, в котором паровой двигатель был центральным элементом в первой индустриальной революции [...]» [Schweber & Wächter, 2000, p. 585]. В своей статье 2000 г. они, правда, сосредоточиваются на изучении лишь одного аспекта компьютерной революции – разработке методов исследования сложных систем (complex systems)⁸.

⁷ В предисловии ко второму изданию «Возникновения вероятности» Хакинг даже высказывает сомнения в уместности применения традиционного слова «революция» к подобным масштабным явлениям вообще, ведь здесь речь идет об «изменении более фундаментальном, чем какая угодно революция» [Hacking, 2006, p. xvii–xix]. От «эпистем» Фуко и «революций» Куна Хакинг предлагает вернуться к тому образу, с которого начинал свои знаменитые лекции о возникновении науки нового времени в Кембридже в 1948 году британский историк сэра Герберт Баттерфилд. Последний говорил о произошедшей в умах ученых «перестановке (transposition)» и смене интеллектуальной «рамки (framework)». Однако особенно Хакингу нравится использованная Баттерфилдом в этом контексте метафора «мыслительной шляпы (thinking cap)»: то, что произошло в ходе научной революции «фактически означает смену фасона мыслительной шляпы (virtually means putting on a different kind of thinking-cap)» [Butterfield, 1959/1949, pp. 1, 5; Hacking, 2006, pp. xvi, xix]. Отмечу, что на эту метафору Баттерфилда обращает внимание уже Т. Кун [Kuhn, 1977, p. xiii].

⁸ В настоящее время налицо тенденция говорить об особой «сложно-системной революции (the complex systems revolution)» и «нарождающейся новой сложно-системной парадигме (the emerging new complex systems paradigm)». Как пишет Клифф Хукер: «Существенное воздействие сложных систем на науку есть но-



Сам Хакинг (начиная с рубежа 1970–80-х гг.) предпочитает говорить не о «смене парадигм» (получившей особую популярность именно благодаря книге Куна), а в духе «анархо-рационализма» Фейерабенда, о различных типах рациональности или «стилях научного мышления (styles of scientific reasoning)» [Hacking, 1983, pp. 14, 45–46, 56, 71, 111, 127–128; 2002/1982; 2002/1992; 2012b], а точнее – «стилях научного мышления и действия (thinking & doing)» [Hacking, 2012b, pp. 600–601]⁹. Каждый такой стиль представляет собой смысловую рамку, только и позволяющую говорить определенным образом об истинности и ложности научных высказываний. Каждый стиль вводит свои объекты, свидетельства, предложения (претендующие на истинность или ложность), законы и возможности, а также типы классификации и объяснения. Стили мышления живут в истории: в какой-то момент они рождаются, затем постепенно достигают зрелости. Они могут срастаться (to merge). Некоторые из них умирают, другие же сохраняются, обретая *автономию* по отношению к своему происхождению и создателям и образуя «вневременный канон объективности, стандарт или модель того, что значит быть рациональным (reasonable) в отношении того или иного предмета рассмотрения» [Hacking, 2002/1992, pp. 188–189]. Такие стили сосуществуют друг с другом и обладают изрядной *стабильностью*, поскольку каждый из них устанавливает правила различения истинности и ложности только внутри самого себя (они, как выражается Хакинг, являются «self-authenticating», «самоаутентифицирующимися») [Hacking, 2002/1982, p. 160; Hacking, 2002/1992, pp. 191–198].

Хакинг утверждает «квазистабильность науки»: «Это наши знания [а не стили мышления. – В. Ш.] служат предметом революций, мутаций и нескольких видов забвения; именно содержание того, что мы обнаруживаем, а не то, как мы это обнаруживаем, опровергается. Вот в чем скрыт источник определенного типа стабильности» [Hacking, 2002/1992, p. 192]. Однако важно подчеркнуть, что «каждый стиль мышления имеет свои собственные характерные техники стабилизации (self-stabilizing techniques)» [ibid., p. 193]. В конечном итоге именно они определяют неповторимое лицо каждого стиля и отвечают за необходимость отличать его от других. Стили эти имеют «кумулятивный характер» [Hacking, 2012b, p. 607].

вейшая, продолжающаяся и глубокая революция» [Hooker, 2011, pp. 3–4]. Это также явный претендент на революцию «хакинговского» типа.

⁹ Концепт «стилей научного мышления и действия» Хакинга оказался весьма популярным и влиятельным, встав в один ряд со «стилями мышления (Denkstile)» Флека, «эпистемами» Фуко, «парадигмами» Куна, «научно-исследовательскими программами» Лакатоша и «исследовательскими традициями» Лаудана. Далее я говорю о «стилях мышления» именно в смысле проекта Хакинга, никак не затрагивая богатую историю использования этого термина в русскоязычной философии науки. См., например [Pruzhinin, 2011].



Таких стабилизовавшихся и различных (кумулятивных) научных стилей Хакинг, вслед за известным историком науки Алистером Кромби (Alistair C. Crombie), признает *шесть*: (1) греческий математический стиль (постулирование + доказательство) и индо-арабский алгоритмический стиль (позднее сросшийся с греческим); (2) экспериментальный стиль (наблюдение + измерение), позднее развившийся в лабораторный стиль; (3) стиль гипотетического моделирования; (4) таксономический стиль; (5) вероятностно-статистический стиль; (6) историко-генетический стиль.

Однако указанная «кумулятивность» вовсе не противоречит тому, что осознанное оформление каждого такого стиля, а вероятно, и определенные решающие трансформации в истории его существования (например, слияние с другим стилем) могут быть охарактеризованы как «научные революции». Для выражения этого сочетания традиционности и новаторства Хакинг использует метафору «*кристаллизации*» практик. Так, в отношении греческого математического стиля он пишет:

«Открытие, состоявшее в том, что мы способны строить убедительные доказательства, исходя из постулатов, не явилось сразу в безукоризненно-совершенном виде (was not an “immaculate conception”), но было продолжением (continuation) месопотамской и североафриканской практики. С другой стороны, это открытие было отчетливым разрывом в развитии математического мышления. “Относительно большое число интересных результатов должно было быть открыто практически одновременно” [Netz, 1999, p. 273]. Нетц полагает, что этот период занял самое большее восемьдесят лет. Нам нет нужды умялять вклад (to dismiss) вавилонян, египтян и других, кто учил греков математике, чтобы увидеть, что была произведена революция в мышлении. Это “кристаллизация” практик, которые возникли намного раньше. Такая метафора далека от совершенства, но она позволяет нам признавать отчетливые разрывы внутри того, что, в ретроспективе, предстает как долгий трудный путь (the long haul) от смутного осознания нового способа действовать (to carry on) к нынешнему хорошо развитому математическому стилю мышления и действия» [Hacking, 2012b, p. 603]¹⁰.

Вводит ли компьютерная революция новый стиль научного мышления, и если да, то как он соотносится со сложившимися ранее стилями, например с математическим и алгоритмическим стилями? С одной стороны, Хакинг не склонен заниматься умножением сти-

¹⁰ Ревил Нетц, на авторитетное свидетельство которого Хакинг ссылается в приведенном пассаже, подчеркивает именно разрыв: «ранняя история греческой математики была внезапным появлением, а не постепенным развитием (was catastrophic, not gradual)», это был «внезапный интеллектуальный взрыв» [Netz, 1999, p. 273]; «математика появляется внезапно и сразу во всей своей мощи» где-то около 440 г. до Р. X. [ibid., p. 275]



лей и тяготеет к сохранению исходной шестерки, предложенной Кромби, с другой, – намекает на возможность других стилей. Что же касается компьютеров, то Хакинг не спешит говорить в этой связи о рождении нового научного стиля. С одной стороны, он склонен видеть здесь континуальность и историческую преемственность: «Современный быстродействующий компьютер есть, очевидным образом, зрелый плод (the fruition) того видения [математического] доказательства, которое восходит к Лейбницу» [Hacking, 2014, p. 40]. С другой стороны, он подчеркивает возможные контуры грядущих радикальных изменений (в частности, в том, что мы привыкли называть математикой): «Я легко могу себе представить, что доказательство выйдет из употребления (will be obsolete) менее чем за столетие, под воздействием компьютера (an effect of the computer)» [Lakoff, 2012, p. 228]¹¹.

В публичной лекции «Математическое животное» Хакинг формулирует вопрос: «Какое воздействие переход от бумаги и ручки к электронным технологиям окажет не только на математическую практику, но и на сами наши мыслительные процессы?» [Hacking, 2010]. Он вспоминает в этой связи выражение британского антрополога сэра Джека Гуди «технология интеллекта (technology of the intellect)». Гуди применял его к *письменности*, имея в виду то воздействие, которое появление и распространение последней оказало, и продолжает оказывать, на когнитивные и интеллектуальные операции, на общие методы, используемые для понимания мира, в котором мы живем [Goody, 2000, p. 144]. В отличие от Гуди, для которого компьютер был лишь удобным способом хранения информации в графической форме, а интернет – средством обеспечения широкого доступа к письменным текстам [ibid., pp. 22, 29, 110, 144, 159], т. е. частью все того же процесса распространения письменности, для Хакинга компьютер, по-видимому, представляет собой *особую* «технологии интеллекта». Он вспоминает в этой связи появление «экспериментальной математики» (особый журнал под таким названием начал выходить в 1992 г.), т. е. чистой математики, в которой результаты устанавливаются не с помощью классического доказательства, а в результате экспериментального исследования поведе-

¹¹ В своей книге по философии математики он высказывается по вопросу о будущем математического доказательства более сдержанно [Hacking, 2014, p. 65]. Впрочем, позиция его в главном остается неизменной: математика не имеет какой-либо внеисторической сущности, поэтому и в отношении доказательства, и в отношении приложений она может изменяться и изменяется исторически неповторимым и непредсказуемым образом. Так, он риторически вопрошает, можно ли считать моделирование природы с использованием мощных компьютеров «прикладной математикой» в том же смысле, в котором это выражение употребляли во времена Лагранжа, Гамильтона и Фурье, т. е. в конце XVIII – начале XIX в. [ibid., p. 50]



ния соответствующих математических объектов на компьютере¹². Экспериментальная математика, несмотря на относительно недавнее свое появление, полагает Хакинг, «оказывает куда большее воздействие на математику, чем это обычно признается» [Hacking, 2010]. За такой оценкой стоит более общий его тезис: «Мы могли бы высказать догадку, что любой математический “протез” (prosthesis), начиная с бумаги и палочки для письма, переходя затем к линейке и циркулю и, наконец, к современным компьютерным программам, не просто повышает наше мастерство, но и изменяет наш разум» [ibid.].

Максимально близко к тому, чтобы связать с компьютерной революцией появление нового стиля научного мышления (в смысле Хакинга) подходят Сэм Швебер (см. выше) и его ученик Израиль Белфер. Последний даже вводит специальный термин «информационно-нагруженный стиль научного мышления (information-laden scientific style of reasoning)» [Belfer, 2011]. Он разъясняет свою мысль следующим образом:

«Наука, нагруженная Информацией (если взять за образец выражение “теоретически-нагруженная” наука), насквозь пропитана (saturated) прямой и косвенной опорой на (reliance on) ИТ [информационные технологии] и способы измерения Информации, как в деле постановки проблем, так и их решения, что определяет собой (influencing) теорию и практику науки» [ibid., p. 206].

Материал, на котором Белфер иллюстрирует свой тезис, – это революционная трансформация современной физики. Как пишет Швебер, ссылаясь на совместную работу с Белфером, «...достижения в развитии компьютерного оборудования, программного обеспечения и запатентованных устройств впечатляющим образом изменили как экспериментальную, так и теоретическую физику. Кун ошибался, делая основной упор на теорию. Теперь следует говорить не только об экспериментальной и теоретической физике, но, плюс к этому, и о вычислительной физике» [Schweber, 2016, p. 338].

Сходные вещи можно сказать и об изменении математической практики. Впрочем, как отмечал Швебер, математика и физика очень тесно связаны: «Математика – это особый язык, который обеспечивает объективность и свободный от двусмысленностей обмен инфор-

¹² Здесь следует заметить, что «экспериментальная» математика, как правило, не рассматривается практикующими ее исследователями как альтернатива «теоретической», доказательной, математике. Скорее, речь идет о том, чтобы узаконить публикацию результатов «экспериментального» типа *наряду* с традиционными публикациями строгих доказательств. Впрочем, в первой половине 1990-х гг. появился ряд провокационных публикаций, пророчивших, в связи с распространением экспериментальной математики, «смерть» традиционному математическому доказательству.



мацией. Кроме того, математика и физика всегда создавались и создаются в тесной взаимосвязи (have always been “co-constructed”)) [Schweber, 2016, pp. 339–340].

От куновских к материально-техническим революциям в математике

Продолжая тему тесной взаимосвязи математики и физики, отмечу, что в отличие от Т. Куна, который так и не преодолел до конца стандартный неопозитивистский взгляд, утверждающий принципиальную разноприродность математики (формальные науки) и естествознания (фактуальные науки), в связи с чем остерегался прямо писать о революциях в математике¹³, современные философы науки, как правило, *не склонны отрывать математику от других наук*. Последнее обстоятельство делает естественным беспрепятственное применение обсуждавшихся выше концепций, уточняющих и видоизменяющих куновское понимание революций, и к математике.

С другой стороны, одна из современных общих тенденций в философии математики, и особенно в философии математической практики, состоит в том, чтобы *все шире понимать математику, захватывая все более широкий и разнообразный, однако релевантный, культурный контекст*, что, в свой черед, также заставляет все дальше уходить от кумулятивизма в представлении о ее развитии, и иметь все больше оснований для признания наличия в истории математики революций на разных уровнях¹⁴. Эта тенденция еще не исчерпала свои возможности и заслуживает дальнейшего усиления, через решительное включение в математический мир характерных социокультурных и даже *материальных и технических* компонент.

Томас Никлс справедливо отмечает: «Говоря о технологическом развитии, философы, включая Куна, недооценивали главный источник трансформационного развития, а именно материальную культуру, в особенности развитие новых инструментов» [Nickles, 2017, sec. 6.4]. Попытку устранить названную «недооценку» мы и наблюдаем в последнее время, в том числе и в отношении математики. Например, всерьез обсуждается роль использования мела и доски в развитии математического мышления и практики [Barany & MacKenzie, 2014; Greiffenhagen, 2014]. Однако особый интерес вызывает, конечно же, влияние на математические практики наступления эры компьютеров.

¹³ См. подробнее [Shaposhnikov, 2019b].

¹⁴ См. [Shaposhnikov, 2019c].



Ряд авторов уже достаточно давно предлагает рассматривать *компьютерную революцию*, в том числе и как простирающуюся настолько далеко, чтобы вовлечь в свою орбиту математику [P. R., 1992; Robertson, 2003, pp. 72–89; Schuster, 2013]. Возможно, стоит усилить их тезис, «перевернув» его, и *посмотреть на компьютерную революцию как на революцию в математике по преимуществу*, которая в дальнейшем распространилась и на иные культурные области, став «большой» революцией (в смысле Хакинга). Такое видение ситуации не столь уж искусственно, как может показаться на первый взгляд, ведь персональные компьютеры являются по своему происхождению *математическими вычислительными инструментами* (английское слово «computer» исходно обозначает того, кто «compute», т. е. производит математические расчеты, вычисления, ср. также русский термин «ЭВМ = электронно-вычислительная машина») ¹⁵, так что неудивительно, что они оказывают все более заметное влияние на все многообразие практик, образующих математику в привычном смысле слова ¹⁶.

Кроме того, подобный взгляд опирается на «широкое» понимание математики, которое включает не только «чистую» и «прикладную» математику, но и все многообразие вычислительных и количественных (quantification) практик, проникающих сейчас в самые разнообразные области как научной, так и повседневной деятельности. Столь широко понимаемая «математика» естественным образом оказывается лишь весьма условно «отделимой» от других научных практик.

Еще на рубеже 1970-х и 1980-х гг. наиболее чуткие наблюдатели стали замечать, что тесные отношения с теоретической информатикой (computer science) и все более широкое использование новейшей компьютерной техники начинают существенно и (по-видимому) необратимо *трансформировать математическую практику* (причем не только в сфере прикладной, но и чистой математики). На фоне произошедшего именно в это время осознания общего значения компьютерной революции для всей человеческой культуры как революции, которая решающим образом изменила наши представления о том, как мы мыслим, какова природа сознания, и, в конечном итоге, что значит быть человеком [Turkle, 2005/1984], сказанное о трансформации математической практики может показаться банальностью. Однако банальность эта приобретает особый интерес при столкновении ее с характерными попытками отстоять неизменность природы и кумулятивность развития математики и в случае новейшей культурной ситуации ¹⁷.

¹⁵ Такой взгляд последовательно проводится, например, в работе [Ceruzzi, 2003/1998].

¹⁶ См. [Shaposhnikov, 2018; 2019a]

¹⁷ Ограничусь ссылкой лишь на одну работу такого рода. Пол Хамфриз [Humphreys, 2011] решительно критикует попытку Сэма Швебера применить хакинговскую



Показательным примером живой реакции на происходящее из тех лет может служить доклад 1984 г. «Математика и компьютерная революция», сделанный крупным британским математиком, лауреатом Филдсовской премии (1966), сэром Майклом Фрэнсисом Атья [Atiyah, 1988].

В названном докладе Атья говорит об «интеллектуальных вызовах и опасностях», которые принесла математике компьютерная революция. Он с тревогой наблюдает за смещением интереса с континуалистской (классический анализ) математики бесконечного в сторону дискретной и конечной математики как более релевантной для компьютерных исследований. Он пишет: «Существует реальная опасность, что великая классическая [математическая] традиция превратится в постепенно загнивающее стоячее болото (being swamped)» [ibid., p. 343]. Вообще он склонен видеть в computer science опасного конкурента математики.

Атья предсказывает в будущем конкуренцию между математиками-людьми и компьютерами. Он указывает в этой связи на доказательства с привлечением компьютера, примером которых служит доказательство в 1976 г. теоремы о четырех красках и многие другие за ним последовавшие. Такие доказательства он характеризует как применение грубой силы. В то же время они ничего не дают эстетическому чувству и не приносят никакого нового прозрения или нового понимания. Даже если компьютеры и не грозят вытеснить полностью людей из сферы математики, в сотрудничестве с ними математик имеет шанс «из искусного мастера превратиться в менеджера (a factory manager)» [ibid., p. 341]. Более того, продолжает Атья, «математика в действительности – это искусство избегать грубой силы прямых вычислений за счет развития таких понятий и техник, которые позволяют достигать той же цели более легким путем. Дайте математику машину для проведения вычислений бесконечной мощности, и вы лишите его внутреннего движущего стимула (his inner driving force)» [ibid., 1988, p. 342]. Другими словами, с точки зрения Атья, мощные компьютеры грозят исказить, если не уничтожить, самую суть математики!

Конечно, Атья видит и новые возможности, которые компьютеры дают в плане визуализации и математического экспериментирования, однако тревога в его оценках перевешивает восхищение.

концепцию стилей научного мышления и хакинговское понимание революций к современной ситуации в междисциплинарном поле вычислительной науки (computational science). Сам он видит в происходящих изменениях лишь кумулятивное расширение набора имевшихся ранее технических приемов и методов (the techniques of science). В его терминологии это означает, что происходящая на наших глазах революция является не «заместительной (replacement)», но лишь «разместительной (emplacement)» [Humphreys, 2011, p. 132]. Подобная позиция доминирует и в споре о революциях в математике [Shaposhnikov, 2019c].



Здесь в Атья говорят консервативные и охранительные настроения, но главное – он безошибочно чувствует, что компьютерная революция в самом деле грозит существенным изменением привычной математической практики.

Отмеченные Атья тенденции продолжают развиваться, и последствия их становятся все более заметными. В предисловии к русскому переводу его доклада, вышедшему в 2016 г., он написал: «Проблемы, которым статья посвящена, все еще налицо и стали даже более актуальными [...], и 30 лет развития компьютеров [прошедшие со времени появления этого доклада. – В. Ш.] угрожают теперь глубинной сущности математики (threaten mathematics to its core)» [Atiyah, 2016, p. 5].

Что же получается? Неужели порождение математической мысли действительно ставит под угрозу жизнь собственной матери? На мой взгляд, математике смерть ни в коем случае не грозит, ведь она попросту не обладает той инвариантной «глубинной сущностью», исчезновение которой следовало бы интерпретировать как смерть. Однако вопрос о том, имеем ли мы дело в случае компьютерной революции с радикальными изменениями в математике, заслуживающими имени «революция», или с второстепенными и, главное, внешними для математики изменениями, – остается предметом споров. Ведь значительная часть математиков, да и философов математики, по-прежнему убеждены, что математика сводится к теории, которая в истории лишь расширяется кумулятивно, по сути своей всегда оставаясь прежней!

Список литературы / References

Atiyah, 1988 – Atiyah, M. “Mathematics and the Computer Revolution”, in: Atiyah, M. *Collected Works. Vol. 1*. New York, NY: Oxford University Press, 1988, pp. 329–347.

Atiyah, 2016 – Atiyah, M.F. “Matematika i komp’yuternaya revolyutsiya” [“Mathematics and the Computer Revolution”], *Izvestiya RAN. Seriya matematicheskaya*, 2016, vol. 80, no. 4, pp. 5–16. (In Russian)

Baird, 2004 – Baird, D. *Thing Knowledge*. Berkeley, CA: University of California Press, 2004, 274 pp.

Barany & MacKenzie, 2014 – Barany, M.J., MacKenzie, D. “Chalk: Materials and Concepts in Mathematics Research”, in: Coopmans, C., Vertesi, J., Lynch, M., Woolgar, S. (eds.), *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2014, pp. 107–129.

Belfer, 2011 – Belfer, I. “The Information-Computation Turn: A Hacking-Type Revolution”, in: Ess, C. & Hagengruber, R. (eds.), *The Computational Turn: Past, Presents, Futures? First International Conference of IACAP, 4–6 July, 2011, Aarhus*



University: *Proceedings*. Münster: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG, 2011, pp. 205–208.

Butterfield, 1959/1949 – Butterfield, H. *The Origins of Modern Science 1300–1800*. New York: Macmillan, 1959, 242 pp. First published in 1949.

Cat, 2017 – Cat, J. “The Unity of Science” (2007; substantive revision – 2017), in: Zalta, E.N. (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-unity/>], accessed on 14.05.2019]

Ceruzzi, 2003/1998 – Ceruzzi, P.E. *A History of Modern Computing*. 2nd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003, 445 pp. First published in 1998.

Daston, 2015 – Daston, L. “The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution by David Wootton review – a big bang moment”, *The Guardian: International Edition*, 28 Nov. 2015. [<https://www.theguardian.com/books/2015/nov/28/invention-of-science-scientific-revolution-david-wootton-review>], accessed on 14.05.2019]

Drozdova, 2015 – Drozdova, D. “Chto takoye ‘nauchnaya revolyutsiya’?” [What is ‘Scientific Revolution?’], *PostNauka*, June 22, 2015. [<https://postnauka.ru/faq/48806>], accessed on 14.05.2019] (In Russian)

Dyson, 2012 – Dyson, F.J. “Is Science Mostly Driven by Ideas or by Tools?”, *Science. New Series*, 2012, vol. 338, no. 6113, pp. 1426–1427.

Galison, 1987 – Galison, P. *How Experiments End*. Chicago: University of Chicago Press, 1987, 337 pp.

Galison, 1997 – Galison, P. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press, 1997, 955 pp.

Goldstone, 2001 – Goldstone, J.A. “Towards a Fourth Generation of Revolutionary Theory”, *Annual Review of Political Science*, 2001, vol. 4, pp. 139–187.

Goldstone, 2014 – Goldstone, J.A. *Revolutions: A Very Short Introduction*. New York: Oxford University Press, 2014, 168 pp.

Goody, 2000 – Goody, J. *The Power of the Written Tradition*. Washington: Smithsonian Institution Press, 2000, 192 pp.

Greiffenhagen, 2014 – Greiffenhagen, C. “The Materiality of Mathematics: Presenting Mathematics at the Blackboard”, *The British Journal of Sociology*, 2014, vol. 65, no. 3, pp. 502–528.

Hacking, 2002/1982 – Hacking, I. “Language, Truth and Reason”, in: Hollis, M. & Lukes, S. (eds.), *Rationality and Relativism*. Oxford: Blackwell, 1982, pp. 48–66. Reprinted: Hacking, I. *Historical Ontology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2002, pp. 159–177.

Hacking, 1983 – Hacking, I. *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. New York: Cambridge University Press, 1983, 287 pp.

Hacking, 1987 – Hacking, I. “Was There a Probabilistic Revolution 1800–1930?”, in: Krüger, L.; Daston, L.J. & Heidelberger, M. (eds.), *The Probabilistic Revolution. Vol. 1: Ideas in History*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1987, pp. 45–58.

Hacking, 2002/1992 – Hacking, I. “‘Style’ for Historians and Philosophers”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 1992, vol. 23, pp. 1–20. Reprinted: Hacking, I. *Historical Ontology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2002, pp. 178–199.



Hacking, 2006 – Hacking, I. *The Emergence of Probability: A Philosophical Study of Early Ideas about Probability, Induction and Statistical Inference*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2006, 246 pp.

Hacking, 2010 – Hacking, I. “The Mathematical Animal” (University of Toronto, Nov. 10, 2010), *TVO, Big Ideas Lecture Series*. [http://podcasts.tv.org/bi/video/007937_480x270_512k.mp4, accessed on 14.05.2019]

Hacking, 2012a – Hacking, I. “Introductory Essay”, in: Kuhn, T.S. *The Structure of Scientific Revolutions, 50th Anniversary (Fourth) Edition*. Chicago: University of Chicago Press, 2012, pp. vii–xxxvii.

Hacking, 2012b – Hacking, I. “‘Language, Truth and Reason’ 30 Years Later”, *Studies in History and Philosophy of Science. Part A*, 2012, vol. 43, pp. 599–609.

Hacking, 2014 – Hacking, I. *Why Is There Philosophy of Mathematics at All?* New York: Cambridge University Press, 2014, 290 pp.

Humphreys, 2011 – Humphreys, P. “Computational Science and Its Effects”, in: Carrier, M. & Nordmann, A. (eds.), *Science in the Context of Application. Boston Studies in the Philosophy of Science. Vol. 274*. Dordrecht: Springer, 2011, pp. 131–142.

Hooker, 2011 – Hooker, C. “Introduction to Philosophy of Complex Systems: A”, in: Hooker, C. (ed.), *Philosophy of Complex Systems (Handbook of the Philosophy of Science. Vol. 10)*. Oxford, UK: North Holland (Elsevier), 2011, pp. 3–90.

Kuhn, 1977 – Kuhn, T. S. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press, 1977, 366 pp.

Lakoff, 2012 – Lakoff, A. “Ian Hacking Interviewed by Andrew Lakoff”, *Public Culture*, 2012, vol. 24, no. 1 (66), pp. 217–232.

Lawson, 2016 – Lawson, G. “Within and Beyond the ‘Fourth Generation’ of Revolutionary Theory”, *Sociological Theory*, 2016, vol. 34, no. 2, pp. 106–127.

Netz, 1999 – Netz, R. *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999, 327 pp.

Nickles, 2017 – Nickles, T. “Scientific Revolutions” (2009; substantive revision – 2017), in: Zalta, E.N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-revolutions/>, accessed on 14.05.2019]

P. R., 1992 – P.R. “Mathematicians Join the Computer Revolution”, *Science. New Series*, 1992, vol. 256, no. 5053, pp. 52–53.

Pruzhinin, 2011 – Pruzhinin, B.I. “‘Stil’ nauchnogo myshleniya’ v otechestvennoy filosofii nauki” [“The ‘Style of Scientific Thought’ in Russian Philosophy of Science”], *Voprosy filosofii*, 2011, no. 6, pp. 64–74. (In Russian)

Robertson, 2003 – Robertson, D.S. *Phase Change: The Computer Revolution in Science and Mathematics*. New York: Oxford University Press, 2003, 208 pp.

Schuster, 2013 – Schuster, P. “A Silent Revolution in Mathematics: The Rise of Applications, Numerical Methods, and Computational Approaches”, *Complexity*, 2013, vol. 18, no. 6, pp. 7–10.

Schweber, 2015 – Schweber, S. “Hacking the Quantum Revolution: 1925–1975”, *The European Physical Journal H*, 2015, vol. 40, pp. 53–149.

Schweber, 2016 – Schweber, S. “On Kuhnian and Hacking-Type Revolutions”, in: Blum, A., Gavroglu, K., Joas, C. & Renn, J. (eds.), *Shifting Paradigms: Thomas S. Kuhn and the History of Science*. Berlin: Edition Open Access, Max Planck Institute for the History of Science, 2016, pp. 337–346.



Schweber & Wächter, 2000 – Schweber, S., Wächter, M. “Complex Systems, Modeling and Simulation”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 2000, vol. 31, no. 4, pp. 583–609.

Shaposhnikov, 2018 – Shaposhnikov, V.A. “Raspredeleyennoye poznaniiye i matematicheskaya praktika v tsifrovom obshchestve” [“Distributed Cognition and Mathematical Practice in the Digital Society”], *Epistemology & Philosophy of Science*, 2018, vol. 55, no. 4, pp. 160–173. (In Russian)

Shaposhnikov, 2019a – Shaposhnikov, V.A. “Na puti k otkrytoy matematike” [“Towards Open Mathematics”], *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 7: Philosophy*, 2019, no. 1, pp. 79–94. (In Russian)

Shaposhnikov, 2019b – Shaposhnikov, V.A. “Priznaval li Kun revolyutsii v matematike?” [Did Kuhn Recognize Revolutions in Mathematics?], *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 7: Philosophy*, 2019, forthcoming. (In Russian)

Shaposhnikov, 2019c – Shaposhnikov, V.A. “Revolutsii v matematike: vozv-rashchayas’ k staromu sporu” [“Revolutions in Mathematics: an Old Debate Revisited”], *Filosofiya Nauki i Tekhniki*, 2019 forthcoming. (In Russian)

Turkle, 2005/1984 – Turkle, S. *The Second Self: Computers and the Human Spirit. Twentieth Anniversary Edition*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005, 372 pp. First published in 1984.

Wootton, 2015 – Wootton, D. *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*. London, UK: Penguin, 2015, 784 pp.