

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПО ОБЩЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

**НАУКОВЕДЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
2013**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

МОСКВА
2013

236. Шелищ П.Б. Динамика науки. — Л.: Наука ЛО, 1981. — 141 с.
237. Шульгина И.В. Инфраструктура науки в СССР. — М.: Наука, 1988. — 160 с.
238. Шухардин С.В., Кузин А.А. Теоретические аспекты современной научно-технической революции. — М.: Наука, 1980. — 154 с.
239. Экмалян А.М. Наука: Генезис и социальная функция. — Ереван: Издательство АН, 1983. — 250 с.
240. Экономика науки: Оценка деятельности и стимулирование / Под ред. Ф.А. Дронова. — Минск: Наука и техника, 1981. — 208 с.
241. Экономика промышленных исследований и разработок / Пер. с нем. В.Н. Бенцианова и др.; Под общ. ред. Р.А. Белоусова. — М.: Прогресс, 1983. — 528 с.
242. Экономические связи академической науки с промышленностью / ИЭ. ВНИИЭСХ; Отв. ред. К.И. Таксир. — М., 1982. — 175 с.
243. Эксперимент. Модель. Теория / Отв. ред. Г. Гёрц, М.Э. Омеляновский. — Москва: Берлин: Наука, 1982. — 334 с.
244. Юдин Б.Г. Методологический анализ как направление изучения науки. — М.: Наука, 1986. — 261 с.
245. Яблонский А.И. Математические модели в исследованиях науки. — М.: Наука, 1986. — 352 с.
246. Яковец Ю.В. Закономерности научно-технического прогресса и их планомерное использование. — М.: Экономика, 1984. — 239 с.
247. Яковец Ю.В. Ускорение научно-технического прогресса: Теория и экономический механизм. — М.: Экономика, 1988. — 335 с.
248. Ярошевский М.Г. Сеченов и мировая психологическая мысль. — М.: Наука, 1981. — 392 с.
249. Ярошевский М.Г. Сталинизм и судьбы советской науки // Репрессированная наука. — Л.: Наука, 1991. — С. 6–33.
250. Яхиел Н. Социология и социальная практика / Пер. с болг. П.Г. Васильева. — М.: Прогресс, 1985. — 285 с.

А.Д. Панов

МАКРОЭВОЛЮЦИЯ И НАУКА¹

Ключевые слова: наука, макроэволюция, ресурсы, финансирование, космос, положительная обратная связь, математическая модель, SETI, парниковая катастрофа.

Keywords: science, macroevolution, resources, funding, cosmos, positive feedback, mathematical model, SETI, greenhouse catastrophe.

Аннотация: Наука рассматривается в контексте макроэволюции. Показано, что наука обладает типичными чертами лидера эволюции на определенном этапе планетарной макроэволюции. Правило смены лидера эволюции приводит к вопросу о возможной утрате наукой лидирующей позиции в формировании вектора развития человечества и о возможных кризисных явлениях, связанных с этим обстоятельством. Среди факторов, которые могут вызвать кризисные явления в науке уже в обозримом будущем, рассматривается удорожание экспериментальных исследований в некоторых фундаментальных направлениях физики и астрофизики. Показано, что это может привести к коллапсу внутри этих фундаментальных направлений науки. Рассматриваются возможности избежать такого ресурсного кризиса.

Abstract: Science is discussed in the context of macroevolution. It is shown that science has the typical features of an evolution leader at some stage of planetary macroevolution. The rule of evolution leader change leads to the question of a possible loss of science the leadership in forming the direction of development of mankind and to

¹ Автор благодарит А.В. Карнаухова за помощь, обсуждение и разрешение использовать предоставленную им информацию, касающуюся космического солнечного экрана. Часть работы была поддержана грантом РФФИ 07-06-00-300.

the question of possible crisis phenomena associated with this circumstance. The cost increase of experimental studies in some fundamental areas of physics and astrophysics is considered among the factors that could cause crisis phenomena in science in the foreseeable future. It is shown that this cost increase can lead to the collapse in these fundamental areas of science. The possibilities to avoid this resource crisis are discussed.

Ограниченность ресурсов и наука

Практически все согласны с тем, что человечество находится в переломной точке своего развития. Суть происходящего перехода можно охарактеризовать как смену эволюционной траектории цивилизации с траектории экстенсивного роста, характеризующейся нарастанием потребления природных ресурсов и энергии, ростом населения, ростом мирового валового продукта и т.д., на траекторию интенсивного развития, когда рост основных количественных показателей должен быть ограничен сверху или как минимум должен резко замедлиться.

Еще три-четыре десятилетия назад казалось несомненным, что поступательный количественный рост («технологический взрыв») человеческой цивилизации будет продолжен за счет глобального выхода в космос и освоения его ресурсов. Но сейчас уже можно с уверенностью констатировать, что человечество отказалось от космических амбиций и останется на Земле на долгие десятилетия. Это хорошо видно по тому, как провалились планы освоения космического пространства, которые строились и экономически обосновывались в конце 1960-х – начале 1970-х годов, и каковы планы на будущее теперь. Некоторые примеры содержатся в [11, с. 37]. В 1974 г. известный специалист К. Эрике, занятый в космической программе США, заявлял, что после 1985 г. будет введена в строй орбитальная станция на 25–100 человек. В начале 1970-х годов в качестве проекта ближайшего будущего рассматривалось строительство 90-метрового субмиллиметрового орбитального телескопа. По данным американской печати на 1975 г., к 2000 г. предполагалось ввести в строй космическую солнечную электростанцию на стационарной орбите со сроком эксплуатации 30 лет, мощностью 5 млн. кВт, площадью солнечных батарей 45 км². Другие примеры связаны с предполагаемым использованием ядерных ракетных двигателей (которые даже были созданы и испытывались [16, с. 34]), с полетом на Марс и т.д. Не будем на этом останавливаться.

Существующие планы освоения космоса не обещают быстрого прогресса. Если бы Нилу Армстронгу в 1969 г. (год первой высадки на Луне) сказали, что через 50 лет на Луну будут летать на несколько модифицированном «Аполлоне» (об американской лунной программе см. [4]), он вряд ли в это поверил бы, да, пожалуй, и обиделся бы на глупую шутку. Хотя освоение космического пространства понемногу продолжается, ни о каком экстенсивном броске в космос, который мог бы преодолеть ограниченность материальных и экологических ресурсов Земли, речь более не идет. Интересно, что подавляющая часть человечества даже не обратила внимание на этот «великий перелом», что говорит о глубоких изменениях и в общественном сознании.

Однако несущая способность Земли близка к исчерпанию, поэтому уже сейчас можно заметить, как сокращается рост цивилизации по основным экстенсивным показателям. Наиболее известно явление глобального демографического перехода, исследованное, в частности, в трудах С.П. Капицы [6]. Это явление заключается в том, что, несмотря на гиперболический рост населения Земли до 1970-х годов с предсказываемой точкой обострения (уход в бесконечность, сингулярность) в 2027 г., в настоящее время население Земли вошло в фазу стабилизации численности (что сопровождается также радикальным изменением половозрастного состава). Режим гиперболического роста сломан, острое перенаселение Земле более не грозит. При этом наиболее развитые в экономическом отношении страны уже полностью завершили демографический переход – их население стабилизировано, а в ряде случаев есть признаки депопуляции.

Подобным же образом должна стабилизироваться ситуация и с мировым валовым продуктом. Сейчас по уровню душевого дохода различные страны отличаются на два порядка величины, и простой подсчет показывает: чтобы довести уровень жизни во всем мире до уровня жизни в США (чего многие хотели бы), производство благ в мире нужно увеличить на пару порядков [10]. Это абсолютно невозможно, так как пока нет способа увеличивать уровень жизни в такой степени без наращивания потребления материальных ресурсов и энергии. При таком уровне потребления – даже при самых оптимистических прогнозах относительно развития ресурсосберегающих технологий и замкнутых производственных циклов – невозполнимые ресурсы Земли будут исчерпаны за несколько лет, а соответствующее производство энергии приведет

к перегреву атмосферы¹. Поэтому уровень жизни в США представляется некоторым абсолютно непроходимым верхним пределом, а реально достижимые величины, скорее всего, располагаются существенно ниже. Конечно, мировой продукт не сводится только к индивидуальному потреблению, но в современной либерально-рыночной экономике эти величины связаны очень тесно. Вместе с ограничением роста населения ограниченность среднего душевого дохода означает фактически и ограниченность максимально возможного мирового продукта.

Люди также находятся перед угрозой дефицита воды, эрозии и засоления почв, нехватки продуктов питания. Эти факторы уже сейчас сказываются самым серьезным образом. Утверждается, что среднее душевое потребление продуктов питания населением Земли достигло максимума в 1985–1990 гг. и с тех пор падает [10], что, по сути, означает снижение, а вовсе не рост среднемирового уровня жизни. Это уже сейчас можно рассматривать как признак экономического перехода, и хорошо, если эту тенденцию в отношении продуктов питания удастся переломить.

Признаки экономического перехода заметны и в наиболее развитых странах. Так, отмечается, что «...реальный жизненный уровень в США начиная с 1970-х годов не увеличивается, а реальная заработная плата 80% работающих даже понижается» [20]. По мнению многих американцев (что автору настоящей статьи известно из личных контактов), уровень жизни в США достиг максимума еще в начале 1960-х и с тех пор медленно падает. Это напоминает ситуацию с демографическим переходом – экономический переход происходит раньше в экономически наиболее развитых странах. Данные по динамике глобального мирового ВВП с начала новой эры до начала 1970-х годов указывают на гиперболический рост с предсказываемой точкой обострения в 2005 г. [15, с. 21]. «Сингулярность» ВВП уже пройдена, и мировой продукт давно находится в фазе стабилизации или резкого замедления роста.

Эти данные не дают возможности предсказать в точности, что произойдет в отдаленной перспективе: стабилизация или падение среднего уровня жизни на планете вместе с уровнем совокупного мирового продукта. Возможен и медленный (по сравнению с темпами, которые мы наблюдали в прошлом) поступательный

¹ К перегреву атмосферы не приводит солнечная, ветро- и гидроэнергетика, но вряд ли эти источники способны покрыть необходимые (если предполагать столь высокий уровень потребления) потребности в энергии. – *Прим. авт.*

рост и того и другого, в частности за счет постепенного освоения космического пространства и выноса части промышленности и производства энергии в космос. Освоение космоса продолжается, хотя рост в режиме «технологического взрыва» XIX–XX столетий совершенно исключен. Это позволяет исходить из модели стабилизации мировой экономики на постоянном уровне при ограниченности материальных ресурсов. Отдельно можно обсуждать возможные отклонения от этого сценария. Мы и будем придерживаться этой линии.

Что будет с наукой в новых условиях ее развития на фоне ограниченных материальных ресурсов? Обсуждая этот вопрос, мы не будем касаться национальных особенностей развития науки, но будем подходить к науке как к глобальному общечеловеческому явлению.

Наука в контексте эволюции

Не существует общепринятого определения понятия «наука», поэтому уточним, что будет пониматься под этим термином в данной статье. Прежде всего, наука является одним из методов познания окружающей действительности. Познание, вообще говоря, есть отражение реальности в сознании человека. Существует несколько способов такого отражения: мифология, искусство, религия, философия и наука, поэтому научное познание не тождественно познанию вообще. От других методов познания наука отличается тем, что приводит к результатам, обладающим свойством воспроизводимости в строго определенном смысле. В науке зафиксированы два основных способа получения результатов. Это, во-первых, воспроизводимый опыт и, во-вторых, математическая дедукция. Будем поэтому называть наукой метод познания, приводящий к воспроизводимым результатам на основе комбинированного использования воспроизводимого опыта и математической дедукции.

Из этого определения следует, в частности, что философское знание, по крайней мере отчасти, не принадлежит науке, так как философские истины в общем случае не обладают свойством воспроизводимости. С этим и связано обилие конкурирующих друг с другом философских систем. Философия не предусматривает никаких регулярных методов проверки истинности своих постулатов. В философии понятие доказательства распространено слабо и не является регулярно используемым методом. Это не значит, что философии вовсе чужды логика и научные методы. Из некоторых исходных

положений, которые считаются истинными их авторами, следствия выводятся по возможности логически строго (хотя настоящая логическая строгость в философии нередко уступает место правдоподобию).

В отличие от философии как таковой, история философии является наукой, так как она оперирует объектами – философскими системами, – в существовании которых каждый может убедиться, обратившись к соответствующим источникам. Анализ существующих источников есть один из вариантов воспроизводимого опыта.

Отметим, что приведенное выше определение науки является, скорее, идеалом, к которому стремится научное познание, но не реальной практикой, которой наука строго следует. В путях реализации этого определения есть много тонкостей, анализ которых, однако, выходит за рамки нашего обсуждения¹. Некоторые тонкости в определении понятия научного метода рассматриваются в наших статьях [17; 18].

В первом приближении наука делится на прикладную и фундаментальную. Прикладная наука изучает, грубо говоря, как делать различные полезные вещи, а фундаментальная наука изучает, как устроена природа. Конечно, между прикладной и фундаментальной наукой нет непроходимой границы. Более того, прикладная и фундаментальная наука существуют в тесной взаимосвязи: прикладная наука снабжает фундаментальную методами исследования, фундаментальная прикладную – идеями. Основные результаты, о которых будет идти речь ниже, имеют отношение прежде всего к фундаментальной науке; возможная связь с прикладной наукой также будет отмечена.

Всякое явление в жизни может быть правильно понято только в контексте его становления, в контексте эволюции. Именно с этой точки зрения мы хотим взглянуть на науку.

На эволюцию возможны различные взгляды, и тот подход, который мы здесь представляем, соответствует уровню анализа, который можно называть макроэволюционным. Это примерно соответствует определению макроэволюции согласно книге [3]. В этом

¹ Отметим, например, модификацию понятия воспроизводимого опыта, когда речь идет о наблюдении уникальных астрофизических событий, вроде взрыва сверхновой 1987 А в Магеллановом облаке, или об использовании уникальных по определению экспериментальных установок, которые человечество может позволить себе иметь в единственном экземпляре, таких как коллаيدر LHC. Отметим модификацию понятия математической дедукции, когда речь идет о машинных доказательствах теорем, которые человек не способен воспроизвести или о любых других крайне масштабных машинных вычислениях. – *Прим. авт.*

подходе отмечается, что в закономерностях эволюции биосферы и человеческого общества есть много общего, благодаря чему всю эволюцию на Земле, начиная с появления жизни и до последних известных фаз развития технологической цивилизации, в определенном приближении можно рассматривать как единый процесс. Эволюционирующим объектом в этой модели является «планетарная система» в нашей терминологии [19] или мир-система в независимо сложившейся терминологии [3]. В обоих случаях под системой понимается биосфера, которая в своей эволюции непрерывно переходит в социальную систему.

Мы будем исходить из представления, согласно которому эволюция как человеческой цивилизации, так и биосферы в значительной степени имеет характер прерывистого равновесия [14; 8, с. 420–423; 5; 19, с. 27–36; 3, с. 84–85] и глобально представлена последовательностью фаз и фазовых переходов между ними. В течение периодов относительно спокойного развития происходит количественный рост и (или) плавный рост разнообразия системы, но способность системы удерживать равновесие постепенно исчерпывается. Одним из важных механизмов нарушения равновесия является эндо-экзогенный кризис, механизм которого описал А.П. Назаретян [14]. Суть механизма заключается в том, что деятельность лидера эволюции¹ приводит к такой деградации среды обитания, что ставит под вопрос возможность дальнейшего существования этого лидера. Типичным примером такого кризиса был кислородный кризис и последовавшая за ним неопротерозойская революция около 1,5 млрд. лет назад. Первобытные анаэробные одноклеточные прокариоты так отравили атмосферу Земли кислородом, который для них был ядовитым продуктом их жизнедеятельности, что сами стали стремительно вымирать. В результате на смену им пришла фауна одноклеточных аэробных эвкариотов. Другим видом кризиса, характерным для социальной фазы разви-

¹ Под «лидером эволюции» понимается основная системообразующая структура на данном этапе эволюции, которая в определенном смысле является также «острием прогресса». В макроэволюции можно выделить приблизительно следующую последовательность таких лидеров: одноклеточные прокариоты, одноклеточные эвкариоты, многоклеточные примитивные эвкариоты, позвоночные (рыбы), земноводные, пресмыкающиеся, млекопитающие, гоминоиды, гоминиды, оловайская культура, шелльская культура, культура Мустье (неандертальцы), культура Верхнего палеолит (homo sapiens sapiens), культура неолита, города, культура Осевой революции, культура Средневековья, промышленность + наука, механизированная промышленность, информационное (постиндустриальное) общество. – *Прим. авт.*

тия планетарной системы, является кризис техно-гуманитарного баланса, также описанный А.П. Назаретяном [14]. Здесь уровень культурных сдержек оказывается недостаточным для ограничения роста кровопролития, связанного с ростом убойной силы военных технологий, для ограничения разрушительного техногенного воздействия на окружающую среду (последний вариант имеет много общего с эндоэкогенным механизмом).

Типичными примерами кризисов этого типа являются кризис, связанный с возникновением оружия из стали, который в конце концов привел к Осевой революции [14], или аграрный кризис позднего средневековья, который развился из-за чрезмерной урбанизации, приведшей к первой промышленной революции. Возможно, эндоэкогенный и техногуманитарный механизмы не исчерпывают все механизмы эволюционных кризисов, так как некоторые кризисы, несмотря на отчетливые признаки их проявления, не удается понять в этих рамках.

Эволюционные кризисы разрешаются путем перехода системы на следующий эволюционный уровень, характеризующийся усложнением как структуры системы в целом, так и составляющих ее единиц и переходом к поддержанию равновесия на более высоком уровне организации (присваивающий тип хозяйства сменяется более сложным производящим типом, фауна пресмыкающихся сменяется фауной млекопитающих и т.д.). Во время преодоления эволюционного кризиса, при переходе от одной фазы эволюции к следующей, существенно используется так называемый фактор избыточного многообразия [14, с. 228–230]. Под избыточным многообразием понимаются эволюционные формы, которые на данной фазе эволюции не являются существенным системообразующим фактором, часто плохо адаптированы к существующей действительности и «актуально бесполезны». Однако в моменты кризисов именно среди этого «актуально бесполезного» разнообразия происходит интенсивный отбор форм, способных стать системообразующим фактором на новой ступени эволюции (кризисный макроотбор). Так, например, примитивные млекопитающие возникли задолго до того, как вымерли динозавры, и млекопитающие стали мощным системообразующим фактором биосферы после вымирания динозавров. Можно привести множество подобных примеров.

В контексте представлений о прерывистом равновесии наука предстает типичным явлением эволюции. Становление научного метода сопровождало уже упомянутую выше промышленную революцию XV–XVI вв. (внедрение механизированного промышлен-

ного производства, географические открытия, книгопечатание). Промышленной революции предшествовал затяжной аграрный кризис в Европе, сопровождаемый разрушением экосистем и массовыми эпидемиями. Промышленная революция вместе со всеми сопутствующими явлениями, включая и становление науки, оказалась ответом на этот эволюционный кризис, что и обеспечило выход из эволюционного тупика [14, с. 133]. Таким образом, наука была существеннейшим фактором цивилизационного фазового перехода, соответствующего промышленной революции. Затем наука постепенно превратилась в ведущий фактор развития цивилизации, определяющий также и лицо современной инновационной экономики. Можно также отметить, что некоторые элементы научного мышления, например, в форме античной математики и астрономии, возникли задолго до того, как научное знание стало реально направлять развитие цивилизаций. Наука существовала в форме избыточного многообразия еще до Бэкона, Галилея и Ньютона.

Как показывает опыт, прогрессивные эволюционные решения не являются вечными и универсальными как в социальной эволюции, так и в эволюции вообще (вероятно, это можно рассматривать как один из основных законов эволюции, который пока неизменно работал). Можно говорить о законе периодической смены лидера эволюции. Лидирующее положение земноводных на суше в конце палеозоя сменилось лидерством пресмыкающихся. Те, в свою очередь, в конце мезозоя, уступили лидерство млекопитающим. Млекопитающие уступили свое лидерство наступившей цивилизации людей. Нерасчлененное первобытное сознание человека отступило перед мифологией, на смену мифологическому сознанию пришла философия и сложные религиозные системы (монотеизм) и т.д. Представление о том, что некоторая эволюционная форма может стать вечной основой прогресса и лидером эволюции, — это вера в «дурную бесконечность». Наука, будучи прогрессивным эволюционным решением на определенной стадии развития социальной системы, вряд ли является исключением. На основании этой простой экстраполяции можно предположить, что наука в какой-то момент начнет утрачивать свое лидерство в формировании вектора развития цивилизации.

Подчеркнем, что смена лидера эволюции, как правило, не означает полное исчезновение предыдущих эволюционных форм (земноводные не исчезли при наступлении фауны пресмыкающихся, философия и религия не исчезли после становления науки), но означает именно лишь смену лидера при сохранении старых форм в

редуцированном виде. Это обстоятельство мы назвали законом (или правилом) аддитивности эволюции [19, с. 29–30], и это правило является частным случаем закона иерархических компенсаций Седова – Назаретяна [23]. Термин и ясная формулировка закона принадлежат А.П. Назаретяну [14, с. 225]. Примерно такого сценария можно ожидать и в отношении науки. Научный метод познания не исчезнет, но может быть потеснен совсем другими методами познания или даже некоторыми формами культурной деятельности, вовсе не являющимися познанием с современной точки зрения. Подобная смена лидерства не может пройти безболезненно. Это означает, что рано или поздно наука может столкнуться с серьезными кризисными явлениями.

Данное предощущение породило обширную литературу, посвященную «концу науки» [9; 25]. Одним из первых и в то же время одним из наиболее глубоких исследователей этой проблемы был Станислав Лем. В книге «Сумма технологии», написанной им в 1963 г., подробно обосновывается следующий тезис: «Нам представляется, что у лавинообразного метода познания есть свой потолок и, более того, мы вскоре уже его достигнем» [12, с. 132]. Под лавинообразным познанием С. Лем понимает именно стремительно расширяющееся познание научным методом, характерное для времени написания его книги. С. Лем рассматривает это ограничение как потенциальную причину серьезнейшего цивилизационного кризиса, и большая часть книги посвящена вопросу, «что происходит с цивилизацией, оставшейся без науки» [12, с. 141].

Обычно считается, что книга Лема написана о кибернетике как о части науки (выращивание информации, фантоматика и пр.). В действительности Лем писал о кибернетике как о возможной альтернативе научному методу познания, о том, что может заменить науку, когда та окажется в тупике.

Свой тезис об ограниченности познания научным методом Лем обосновывает примерно следующим образом. Каждое новое открытие вызывает постановку нескольких новых научных проблем, поэтому по мере развития науки число научных проблем растет экспоненциально (с этим невозможно не согласиться). Но число исследователей не может расти столь же быстро, поэтому в какой-то момент ученых начинает не хватать для исследования каждой актуальной научной проблемы. Наука же эффективна только в том случае, когда она исследует все, что входит в ее сферу, так как никто заранее не может предугадать, что окажется важным, а что – нет, где именно произойдет фундаментальный прорыв.

Действительно, с тем, что такой кризисный фактор реально существует и действует, трудно не согласиться. В связи с этим хотелось бы отметить одно важное обстоятельство. Существует мнение, что возможный кризис науки может быть связан также с тем, что природа в какой-то момент окажется просто исчерпанной для научного познания: в физике будет создана универсальная «теория всего», и дальше фундаментальной науке идти будет просто некуда [13]. Самые фундаментальные разделы науки окажутся не у дел. Такая идея существенно противоречит предположению Лема, что каждая новая решенная научная задача порождает несколько новых. Предположение об исчерпаемости природы для познания может оказаться как верным, так и неверным, но, по нашему глубокому убеждению, в настоящее время для такого предположения нет ни малейших оснований. Скорее, проблема может оказаться в другом. Может случиться так, что один и тот же набор экспериментальных фактов, относящихся к наиболее фундаментальной структуре материи, будет одинаково успешно описываться несколькими непротиворечивыми, но полностью исключаящими друг друга теориями, а на пути получения дополнительных экспериментальных данных встанут непреодолимые трудности (такого рода трудности более подробно обсуждаются в последующих разделах статьи). Так как в этом случае не будет никакого средства выбрать одну из теорий в качестве правильной, фундаментальная наука зависнет в состоянии неопределенности, и это, конечно, тоже будет означать кризис. Пока что ситуация в фундаментальной физике развивается по очень похожему сценарию¹, но будущее может преподнести сюрпризы.

Помимо этих внутренних системных кризисов можно указать множество других факторов, которые могут приводить к возникновению кризисных явлений в науке. Это и наступление лженауки, и падение интереса общества к науке, и падение ее престижа, и многое другое. Мы не будем обсуждать их в этой статье, но остановимся на одном явлении, которое, по нашему мнению, может

¹ Можно отметить, например, конкуренцию петлевой квантовой гравитации, теории суперструн и некоторых других подходов в качестве кандидатов на роль самой фундаментальной физической теории [28; 23, с. 724–847]. Пока сохраняются надежды, что по крайней мере, некоторые из этих теорий удастся исключить с помощью эксперимента, но надежды могут и не оправдаться. Похожая ситуация может сложиться в области космологии. Например, некоторые инфляционные сценарии Большого взрыва и так называемые сценарии сталкивающихся бран (экспиритические сценарии) могут быть почти совершенно неотличимыми по наблюдательным проявлениям, не имея при этом ничего общего в физике [3]. – *Прим. авт.*

оказаться важнее других. Речь идет о ресурсных ограничениях на фоне грядущего (и уже начавшегося) экономического перехода.

По мере накопления знаний о природе, добытых научным методом, получение новых фундаментальных знаний обходится все дороже. К сожалению, рост эффективности научных методик не компенсирует роста сложности задач. Действительно, если в XIX и в первой половине XX в. большинство наиболее фундаментальных открытий делалось либо учеными-одиночками, либо очень небольшими группами, то с середины XX в. на фундаментальных направлениях, как правило, работали уже крупные коллаборации, а в последней четверти XX и в XXI в. – почти исключительно международные научные коллаборации постоянно растущего размера, так как фундаментальная наука становится уже не по карману национальным экономикам. Однако ресурсы, которые человечество может потратить на науку, с учетом перспективы грядущего экономического перехода заведомо ограничены сверху.

Ограниченность ресурсов вместе с удорожанием научных исследований может вести к снижению потока новых научных результатов (потока открытий). И этот процесс, несомненно, уже наблюдается. Достаточно вспомнить закрытие проекта сверхпроводящего суперколлайдера (SSC) в США в 1993 г. (по причине дороговизны), что привело практически к стагнации физики элементарных частиц на полтора десятилетия. Мы еще будем возвращаться к этому важному примеру.

Снижение потока новых научных результатов запускает очень опасный для науки процесс. Снижение потока открытий снижает интерес общества к науке. Снижение интереса к науке влечет уменьшение средств, выделяемых обществом на науку. Причем в первую очередь под ударом оказываются самые фундаментальные направления, так как они находятся дальше всего от потребительских интересов общества, общество меньше всего понимает, для чего они нужны. Кроме того, наибольший рост стоимости характерен именно для самых фундаментальных направлений науки. Уменьшение затрат на науку влечет еще более прогрессирующее падение числа открытий, что приводит к дальнейшему падению популярности науки. Так замыкается петля положительной обратной связи.

Это может породить лавинообразный коллапс (в первую очередь) фундаментальной науки, точнее – коллапс ее финансирования. Процессы могут оказаться столь стремительными, что основные участники событий даже не смогут толком понять, что происходит. Социум способен к рефлексии лишь в довольно ограниченной степени.

Математическая модель динамики фундаментальной науки

В оставшейся части статьи мы рассмотрим простую математическую модель динамики фундаментальной науки на фоне ограниченных ресурсов земной цивилизации, включающую описание упомянутой выше петли положительной обратной связи и коллапса финансирования, обсудим выводы, следующие из этой модели.

Описание модели. Модель строится на основе системы рекуррентных соотношений с квантом времени 5 условных единиц времени, которые грубо можно понимать как 5 лет. Чтобы не путать эти условные годы с реальным историческим временем, будем везде далее условные года брать в кавычки. Идея состоит в том, что показатели динамики науки в некоторую пятилетку определяют политику в отношении науки в следующую пятилетку. Модель основана на трех основных простых предположениях. Сначала мы приведем эти три предположения и рассмотрим результаты работы основного варианта модели, затем рассмотрим, насколько устойчивы результаты некоторых из предположений.

Предположение 1. Мировой совокупный доход следует S-образной логистической кривой, описывающей переход в интенсивную фазу развития мировой экономики и соответствующую стабилизацию мирового совокупного продукта (экономический переход). Для модели несущественны детали этого поведения, поэтому кривая была выбрана в простейшей форме:

$$X(T) = [1 + \exp(-T/\tau)]^{-1}, \quad (1)$$

где T – время в годах, τ – постоянная времени перехода, которая принималась равной 50 «годам». Время $T = 0$ соответствует точке перегиба логистической кривой. Как нам представляется, этот момент по смыслу приблизительно соответствует (реальному) 2000 г., хотя думать так не обязательно. Мы работаем в условных единицах времени, которые описывают некоторую абстрактную модельную социальную систему. Поскольку нас будут интересовать только качественные результаты, не обязательно привязывать модель к нашим реалиям. Мировой доход измеряется в относительных единицах, так что в состоянии насыщения по определению $X = 1$. Кривая $X(T)$ показана на рис. 1.

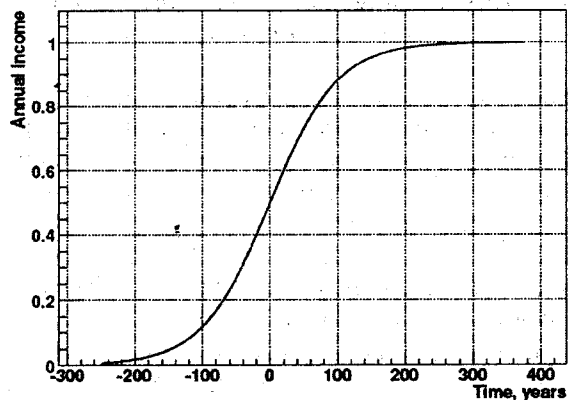


Рис. 1. Модель зависимость мирового продукта от времени

Предположение 2. Уровень затрат на науку в «пяtilетку» пропорционален совокупному мировому продукту в ту же «пяtilетку» (чем больше денег, тем лучше финансируем науку) и пропорционален количеству открытий в предыдущую «пяtilетку» (если наука работала хорошо, т.е. смысл ее и дальше финансировать, если плохо – то что ж зря на нее деньги тратить?). Это предположение в простейшей форме отражает идею, что интерес к науке связан с ее результативностью. При этом предполагается, что затраты на науку ни при каких условиях не могут превысить некоторой предельной доли M от совокупного дохода, которую согласно потратить на науку общество. В математической форме эти простые предположения можно записать в виде двух соотношений:

$$R(T+5) = \alpha X(T+5)n(T); \quad R(T+5) \leq M \times X(T+5), \quad (2)$$

где $R(T+5)$ – затраты на науку в «пяtilетку» с началом в момент $T+5$, $n(T)$ – число открытий в «пяtilетку» с началом в момент T (время измеряется в годах), α – коэффициент пропорциональности. Заметим, что мы не даем точного определения, что такое «число открытий», предполагая просто, что эту величину можно каким-то разумным образом определить. Это очень существенный момент, к обсуждению которого мы еще вернемся. Ясно, что точное определение этого понятия – сложная задача науковедения, которую мы не пытаемся решить в настоящей работе.

Количество опубликованных научных статей не является строго пропорциональным количеству научных открытий, хотя какая-то положительная корреляция здесь, несомненно, имеется.

Предположение 3. Количество открытий в некоторую «пяtilетку» увеличивается пропорционально росту затрат на науку по сравнению с затратами в прошлую «пяtilетку», но уменьшается из-за роста стоимости одного открытия:

$$n(T+5) = n(T) \frac{R(T+5)}{R(T)} \frac{E(T)}{E(T+5)}, \quad (3)$$

где $E(T)$ – средняя стоимость «одного открытия» в «пяtilетку» T в некоторых относительных единицах. По нашему предположению, стоимость одного открытия растет вместе с суммой накопленных открытий, но детальный вид этой зависимости неясен (субъективно она кажется очень крутой). Ввиду этой неопределенности исследовались разные сценарии, и было обнаружено, что во всех случаях качественное поведение модели одно и то же. Здесь мы представляем результаты для двух вариантов – экспоненциального и квадратичного роста стоимости:

$$S(T) = \sum_{t=T_0}^T n(t); \quad E_1(S) = \exp(S/N_0); \quad E_2(S) = 1 + (e-1) \frac{S^2}{N_0^2}, \quad (4)$$

где $S(T)$ – число открытий, накопленных наукой за все время развития науки от момента T_0 в прошлом до времени T ; $E_1(S)$ и $E_2(S)$ – два варианта кривой роста стоимости открытий; N_0 – некоторая постоянная; $e = 2,71828\dots$ – основание натуральных логарифмов (используется здесь для удобства, так как при одном и том же значении N_0 экспоненциальная и квадратичная зависимости в начальной точке $S = 0$ имеют при такой записи квадратичной зависимости одинаковое поведение).

Уравнения (2) и (3) задают полную систему рекуррентных соотношений для определения двух неизвестных функций $R(T)$ и $n(T)$. Задав некоторое начальное условие для n и выбрав параметры α , N_0 и M , шаг за шагом находим затраты на науку и число открытий в каждую «пяtilетку» в зависимости от времени.

В расчетах условно принималось, что наука начала свое развитие за 250 «лет» до момента $T = 0$, и для начала расчета было выбрано достаточно случайное малое начальное значение числа

открытий в «пяtilетку» $n(T_0) = 1$ (точное значение несущественно, так как оно быстро «забывается» динамикой). Постоянная α была равна 0,001 (она не имеет большого физического смысла, так как значение α зависит от единиц, в которых измеряется «количество открытий»), N_0 было равно 2500 для функции $E_1(S)$ и 1000 для функции $E_2(S)$. Эти числа достаточно произвольны и выбраны из соображений удобства. В результате должны были получиться разумные масштабы времени для основных особенностей решения. В основном варианте расчетов принималось, что доля расходов на науку никогда не сможет превысить 2,5% от мирового продукта (реальные расходы на науку с США в 2010 г. составили 2,7% от ВВП, в России в том же году – 1,3% ВВП [24]).

Основные результаты. Перейдем к результатам моделирования. На рис. 2 показана полученная зависимость расходов на науку от времени для случая экспоненциальной зависимости стоимости науки от накопленного интеграла открытий.

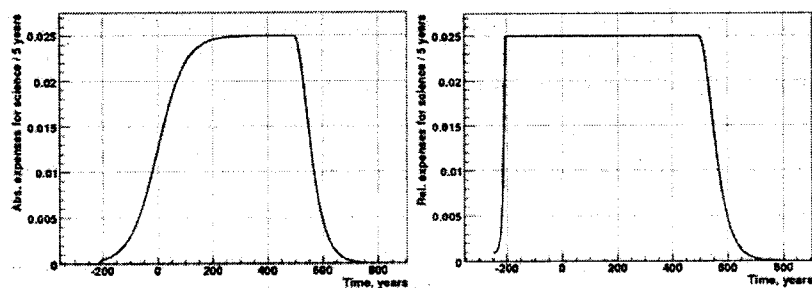


Рис. 2. Зависимость расходов на науку от времени (левый график – в абсолютном выражении, правый график – в долях от мирового дохода)

На кривой выделяются три участка. В самом начале происходит быстрый рост расходов до тех пор, пока не достигается максимально допустимый уровень в 2,5% от мирового дохода. Затем длительное время расходы на науку удерживаются на этой предельной величине, поэтому кривая расходов на науку точно следует кривой мирового продукта (на рис. 2 примерно от –200 до 500 «лет»). После этого расходы на науку начинают быстро падать, пока не снижаются практически до нуля. Большая часть этого обвала происходит всего за несколько десятков лет. Это падение расходов связано с включением той самой положительной обрат-

ной связи, о которой шла речь выше. Таким образом, модель вполне подтверждает качественные рассуждения.

Заметим, что не стоит придавать серьезного значения полученным датам. Имеет смысл только качественное поведение решения. Мы специально исследуем простейшую из возможных моделей, чтобы природа явления не заслонялась несущественными деталями. В действительности различные постоянные коэффициенты модели (α и прочие) легко сделать функциями, которые отслеживают некоторые более тонкие связи, и путем такой подгонки сделать предсказания модели «реалистичными» (в частности, легко получить и гораздо более ранний или гораздо более стремительный коллапс). Но исследование этих тонких деталей не входит в нашу задачу.

На рис. 3 показана зависимость количества открытий в «пяtilетку» от времени.

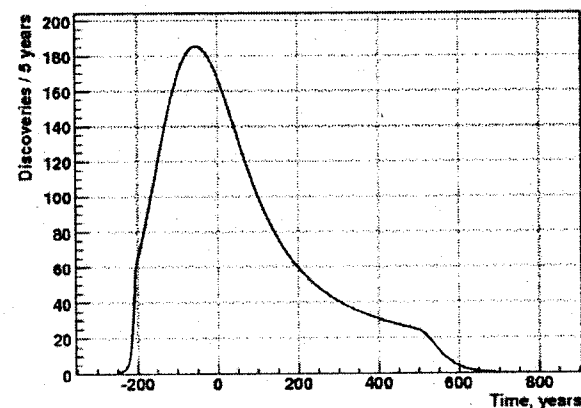


Рис. 3. Зависимость количества открытий в «пяtilетку» от времени

Здесь обнаруживаются новые любопытные детали. Несмотря на то что финансирование науки от $T = -50$ «лет» до $T = 500$ «лет» поддерживалось на постоянном относительном уровне (а в абсолютных цифрах росло вместе с мировым доходом), темп поступления новых открытий падал¹. Это связано с увеличением стоимости

¹ Еще раз напомним, что не нужно придавать датам буквального значения. Годы – это только некоторые условные единицы времени. Обращать внимание нужно только на самые общие динамические тенденции в поведении модели. – Прим. авт.

единичного открытия по мере накопления суммы знаний о природе. Хотя длительное время снижение потока открытий не сказывается на финансировании науки, в конце концов финансирование срывается в лавинообразный коллапс. Таким образом, модель предсказывает постепенное падение количества научных результатов на фоне стагнации финансирования с последующим внезапным коллапсом.

Модель и реальность:

Динамика количества цитированных научных публикаций

Рассматриваемая модель была разработана в начале 2006 г., тогда же были получены и основные ее предсказания примерно в том виде, как это было представлено выше. Первые результаты были опубликованы в книге [19]. В это время трудно было представить, что в обозримом будущем модель можно будет подвергнуть чему-то вроде экспериментальной проверки. Однако в марте 2011 г. на сайте журнала «Wired»¹ была опубликована кривая, показывающая количество цитированных научных публикаций с 1817 по 2010 г. с разбивкой по направлениям науки.

По характеру этой кривой видно, что количество цитированных публикаций устойчиво росло все время наблюдений за исключением нескольких самых последних лет. Начиная с 2007 г. это число внезапно стало падать. У нас нет точных данных по мировым затратам на науку в это время, но данные по затратам на науку в США (рис. 4) показывают², что здесь затраты на науку все это время росли, включая и самые последние годы. Скорее всего, такой была и общемировая тенденция. Таким образом, затраты на науку растут, а количество цитированных статей внезапно начинает падать. Это напоминает динамику, предсказываемую нашей моделью (рис. 1, рис. 2).

Различие, конечно, заключается в том, что цитированные статьи не являются открытиями, о которых говорит модель. Можно, однако, ожидать, что эти величины связаны положительной корреляцией, так как число цитирований как-то отражает научную активность. Еще можно отметить, что падение цитируемости характерно не только для фундаментальных наук. Упало также число цитированных публикаций по медицине. Возможно, наблюдаемый эффект

¹ Режим доступа: <http://www.wired.com/wiredscience/2011/03/best-science-maps?pid=1052>

² Режим доступа: <http://www.nsf.gov/statistics/nsf11313/>

есть нечто более сложное, чем динамика, предсказываемая моделью, но в любом случае, данные показывают, что возможно наличие некоторых кризисных явлений. Возможно, данные указывают на более тесную связь фундаментальных и прикладных направлений науки. Все эти вопросы требуют более внимательного изучения.

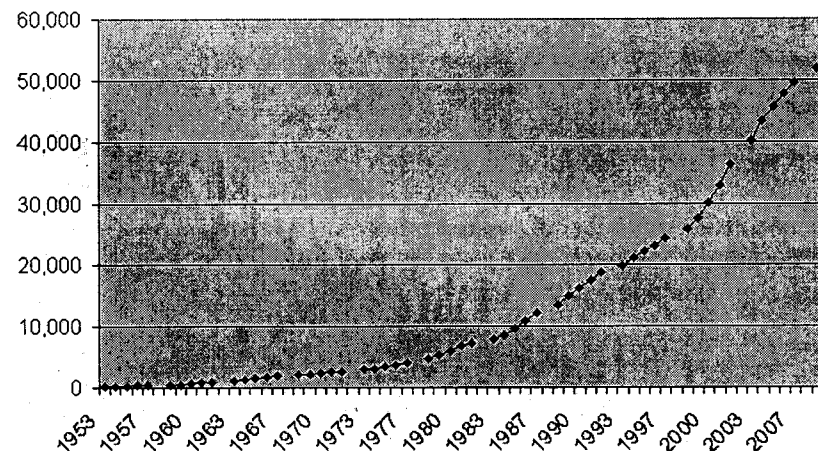


Рис. 4. Затраты на науку в США в год, млн. долл.

Естественное предположение состоит в том, что падение активности в последние годы связано с разразившимся в это время мировым финансовым кризисом. Но это было далеко не первым кризисом за историю наблюдения количества научных публикаций: была Великая депрессия 1930-х, был энергетический кризис 1970-х, была Вторая мировая война, но все это время количество цитированных научных публикаций устойчиво росло. Наблюдаемое падение не имеет прецедента, и в любом случае является совершенно новым, даже если и имеет отношение к финансовому кризису. Возникает естественный вопрос: не вызвано ли падение числа цитированных журнальных научных публикаций тем, что научные публикации стали уходить в Интернет? На рис. 5 показана динамика числа публикаций в архиве электронных препринтов arXiv¹, где выкладываются статьи по всем направлениям физики, математики и по нескольким направлениям биологии и биофизики. Видно,

¹ Режим доступа: http://arxiv.org/show_monthly_submissions

что число электронных публикаций все это время росло, причем без каких-либо заметных особенностей, так что причин предполагать, что цитируемость обычных статей связана с уходом науки в Интернет, нет. Причина падения цитируемости в обычных журнальных статьях остается не вполне ясной.

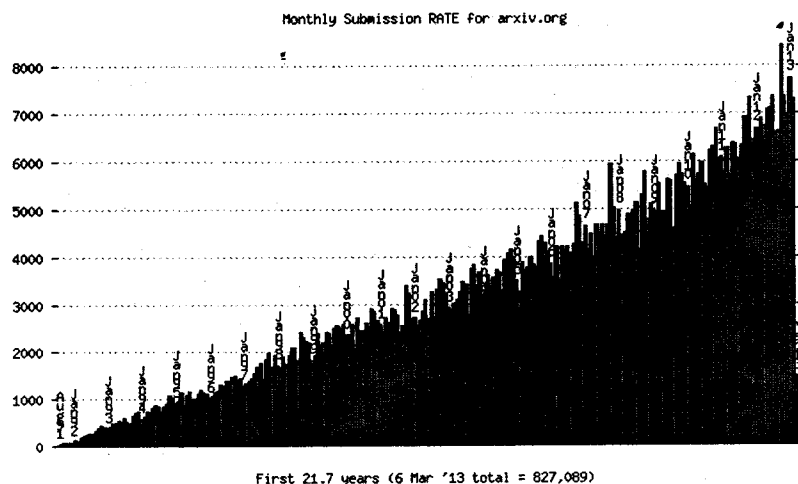


Рис. 5. Помесячная динамика числа публикаций в электронном архиве препринтов arXiv по отдельным направлениям с 1991 г. по начало 2013 г.

Влияние политики финансирования на динамику развития науки

Теперь в порядке обсуждения главных результатов модели рассмотрим некоторые вариации основных предположений, лежащих в ее основе.

Что можно изменить в сценарии, предсказывающем падение числа научных открытий с последующим коллапсом финансирования. Возникает вопрос: нельзя ли отсрочить возникновение финансового коллапса за счет постепенного повышения предельного уровня финансирования науки? Предположим, что начиная с 10 «года», когда падение эффективности науки становится заметным, финансирование науки начинает увеличиваться в линейном режиме таким образом, чтобы к 300 «году» достичь 20% мирового ВВП (вместо 2,5% в 10 «году»). На рис. 6 видно, как начиная с 10 «года» это приведет к потоку открытий.

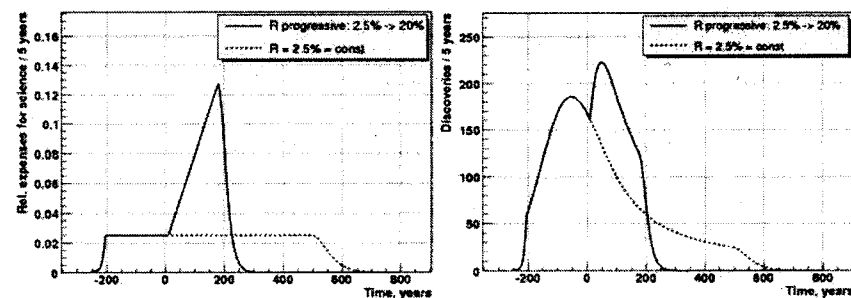


Рис. 6. Влияние увеличения расходов на динамику науки. Слева – финансирование (по отношению к мировому доходу), справа – число открытий в «пятилетку». Пунктирные кривые соответствуют постоянному верхнему пределу финансирования науки на уровне 2,5% от мирового дохода, сплошные кривые соответствуют прогрессивному наращиванию финансирования

Однако совершенно неожиданно коллапс финансирования науки наступает раньше, чем при более низком уровне финансирования. Более того, коллапс наступает раньше, чем расходы на науку достигнут своего предельного уровня в 20% ВВП. На первый взгляд, это совершенно контринтуитивный результат: усиленная поддержка науки приводит лишь к более раннему коллапсу финансирования.

Понять, почему это происходит, можно, если проследить за ростом полного интеграла накопленного научного знания при постоянном и при растущем режиме финансирования. На рис. 7 видно, что в обоих случаях коллапс науки происходит при почти одном и том же значении полного накопленного интеграла знаний. При растущем финансировании финальная сумма знаний оказывается даже несколько большей, несмотря на более раннее завершение процесса накопления знаний.

Интерпретация этого результата состоит в следующем. Коллапс финансирования связан с быстрым ростом стоимости научных открытий по мере накопления суммы научных знаний, и при росте финансирования науки быстрее исчерпывается фонд относительно дешевых доступных открытий. Это похоже на то, как будто существует почти непробиваемая и почти неподвижная граница доступной области фундаментальных знаний, которую мы тем быстрее достигнем, чем быстрее будем к ней приближаться.

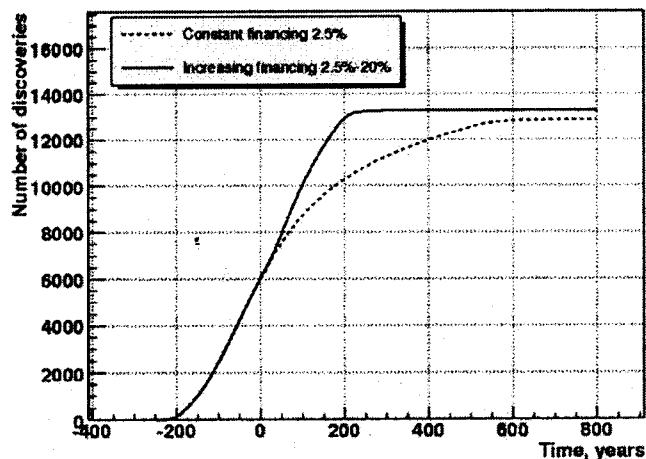


Рис. 7. Зависимость интеграла накопленных научных знаний от времен для двух сценариев финансирования науки: с постоянным верхним пределом в 2,5% от мирового дохода и с постепенным наращиванием до 20% к 300 «году»

Результат кажется парадоксальным только на первый взгляд. В действительности очень похожие события можно обнаружить уже сейчас, если рассматривать отдельные (однако важнейшие) направления фундаментальной науки. Показателен пример физики элементарных частиц на циклических ускорителях. Как уже упоминалось выше, в 1993 г. из-за прекращения финансирования (по причине слишком высокой стоимости и слишком низкого интереса общественности) был закрыт проект гигантского сверхпроводящего суперколлайдера SSC в США. Из-за этого физика элементарных частиц, по крайней мере на 15 лет, впала в состояние стагнации и продолжала вялое существование в ожидании другого, более слабого и дешевого коллайдера LHC (на неполной мощности введен в строй в 2009 г., проектная мощность на февраль 2013 г. не достигнута). После запуска LHC и открытия на коллайдере хиггсовского бозона физика элементарных частиц получила новое дыхание и, по крайней мере, до 2020 г. будет существовать в активном режиме, питаясь результатами LHC. Однако очень велик шанс, что на этом классическая ускорительная физика элементарных частиц на циклических ускорителях прекратит свое существование, так как еще более мощная машина должна быть совершенно фантастическим

сооружением (кольцо в сотни километров диаметром) и стоить таких денег, что человечество может оказаться не готовым на такие траты. В то же время, если бы проект SSC был реализован (что означало бы более высокое финансирование науки в прошлом), то всей той суммой знаний в физике частиц, которой мы будем обладать только лет через 10–15, мы обладали бы уже сейчас. Однако уже теперь ускорительная физика на циклических ускорителях могла бы прекратить свое существование. Этот сценарий довольно точно соответствует тому, что наша модель предсказывает для фундаментальной науки в целом.

Есть надежда, что к 2020 г. будет построен новый линейный ускоритель (ILC – International linear collider, или другой проект – CLIC), тогда ускорительная физика частиц продолжит свое существование еще какое-то время. Это будет гигантская машина с длиной туннеля ускорителя CLIC около 50 км, потребляемой мощностью в непрерывном режиме (!) 450 МВт, что сопоставимо с полной мощностью Днепрогэс, и она вполне может оказаться последней в ряду линейных ускорителей, так как трудно будет пойти на финансирование еще более гигантского сооружения. Новые принципы ускорения частиц (например, коллективное ускорение в лазерном пучке) тоже, конечно, разрабатываются, но перспективы здесь пока совершенно неясны.

Предположения о скорости роста стоимости науки

Насколько критичным является предположение об экспоненциально быстром росте стоимости науки? На рис. 5 показаны результаты расчетов для модели более медленного – квадратичного – роста стоимости науки по мере накопления суммы научных знаний (вместо экспоненциального роста, как это было в основном варианте расчета). Видно, что, хотя графики на рис. 8, соответствующие квадратичному росту, отличаются в деталях от графиков на рис. 6 и 7, соответствующих экспоненциальному росту, основные качественные особенности динамики – те же самые. Приведенные графики аналогичны соответствующему графику на рис. 4 для модели экспоненциального роста стоимости.

Добавим, что даже модель линейного роста стоимости науки при полной стагнации мирового продукта приводит качественно к тем же результатам (мы здесь не показываем детали соответствующих расчетов).

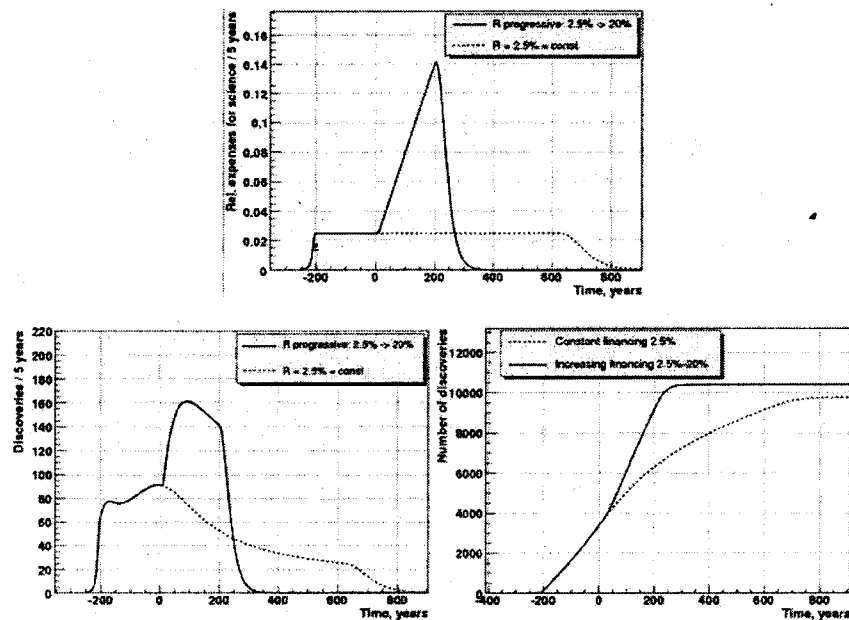


Рис. 8. Результаты расчетов для модели с квадратичным ростом стоимости науки по мере накопления суммы научных знаний

Нетрудно догадаться, что справедлив общий результат: если скорость роста стоимости фундаментальной науки опережает скорость роста мирового продукта (в случае, если нет полной стагнации уровня мирового продукта), денег на науку рано или поздно не хватит, и произойдет коллапс финансирования по рассмотренному механизму. То, что такой режим рано или поздно станет реальностью, представляется весьма вероятным. Таким образом, выводы, в главном, нечувствительны к деталям модели, относящимся к темпу роста стоимости науки.

Предположение о стабилизации уровня мирового продукта

Рассмотрим, насколько критическим для поведения модели является предположение о полной стабилизации мирового продукта. Вопрос состоит в том, может ли рост мирового продукта воспрепятствовать предсказанному моделью коллапсу финансирования науки. Не будем рассматривать сценарии, в которых мировой про-

дукт со временем растет очень быстро – экспоненциально, квадратично и т.д., так как такие сценарии в обозримом будущем заведомо исключены. Мы приводим результаты для модели линейного¹ роста мирового продукта начиная с времени $T = 0$ (рис. 9) в сочетании с основной моделью экспоненциального роста стоимости науки и в предположении ограничения расходов на науку на уровне 2,5% от мирового продукта (так же как в основном варианте расчета).

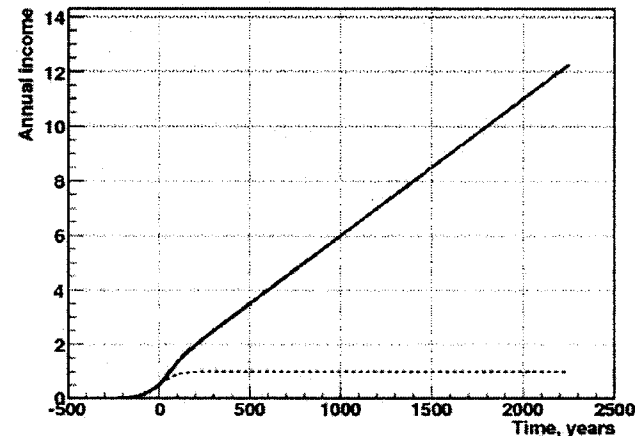


Рис. 9. Модель линейного роста мирового продукта (сплошная линия). Для сравнения приведена модель ограниченного роста мирового продукта, использованная в основном варианте расчета (пунктир)

Линейный рост был выбран таким, что для $T = 200$ «лет» мировой продукт превышает показатели основного варианта расчета со стабилизацией в два раза, для $T = 300$ – в три раза и т.д. На рис. 10 показаны предсказанные моделью затраты на науку и количество открытий в «пятилетку» в зависимости от времени.

Первое, что можно заметить, – это что коллапс финансирования науки никуда не исчез (напомним, что речь идет о затратной фундаментальной науке). Это происходит из-за того, что скорость роста стоимости науки превышает скорость роста мирового про-

¹ Более точно – речь идет о наличии дополнительного линейного множителя к стандартной модели с полной стагнацией экономики, который приводит к асимптотически линейному росту. – Прим. авт.

дукта. Но в расчете появилась новая деталь: осцилляции, имеющие характер коротких всплесков, после первого коллапса финансирования. Любопытно, что столь простая модель предсказывает такое сложное поведение. Что это такое?

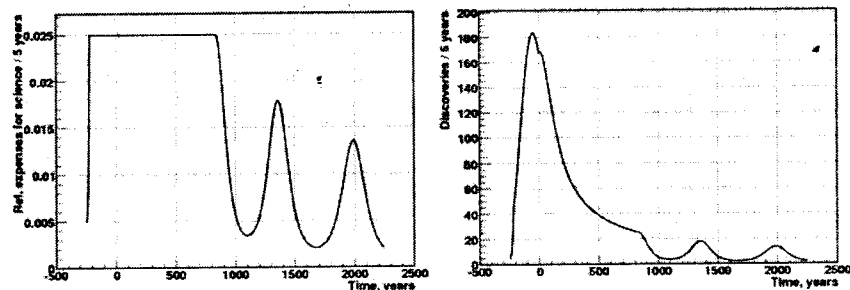


Рис. 10. Поведение относительных затрат на науку (левый график) и количества открытий в «пятилетку» (правый график) в зависимости от времени в модели линейного роста мирового продукта

Смысл этих осцилляций, как нам представляется, может состоять примерно в следующем. После очередного обвала финансирования науки мировой продукт (как заложено в модель) продолжает расти. Это создает соблазн снова попытаться пустить увеличивающиеся материальные ресурсы на фундаментальную науку. Однако из-за высокой стоимости исследований результат разочаровывает, и финансирование снова прекращается.

Вряд ли предсказательная сила модели может распространяться далеко за фазу первого коллапса финансирования науки. К тому же модель совершенно не учитывает обратную связь между наукой и мировым продуктом. Возможно, после первого коллапса финансирования науки никакой линейный рост мирового продукта будет просто невозможен. Но что модель предсказывает однозначно – так это первый коллапс финансирования науки. И в этом отношении снова полностью воспроизводятся качественные результаты модели с ограниченным мировым продуктом – несмотря на рост мирового дохода. Таким образом, в главном модель оказывается не зависящей и от деталей поведения мирового продукта во времени (но до тех пор, пока мировой продукт растет относительно медленно и отношение общества к поддержке науки описывается простой моделью, порождающей петлю положительной обратной

связи). Главное предсказание модели – коллапс финансирования происходит, если скорость роста стоимости науки превышает темпы роста мировой экономики.

Обсуждение результатов модели

Несмотря на отмеченную устойчивость результатов к деталям предположений, заложенных в модель, необходимо отметить, что рассмотренная математическая модель является, конечно, крайне губой. На наш взгляд, ее даже трудно назвать качественной, скорее, она чисто иллюстративная. Правильнее всего было бы рассматривать полученные результаты как некий детализированный способ *задать вопрос* о будущем науки, но не как футурологический прогноз.

Заметим также, что в модели имеются заведомые упрощения. Так, например, динамика науки рассматривается на фоне заданной динамики мирового дохода, и мы полностью пренебрегли возможными обратными связями – как положительными, так и отрицательными. А они могут привести как к дополнительной стабилизации науки (если, например, благодаря научным знаниям мировой доход будет постепенно расти, а не будет стабилизирован на постоянном уровне, как предполагается в основном варианте модели), так и к дестабилизации, если мировой доход начнет падать из-за ослабления потока инноваций, связанных с наукой. Модель предсказывает падение финансирования науки до нуля, но это, конечно, идеализация.

Какое-то остаточное финансирование должно обязательно сохраниться в рамках правила аддитивности эволюции. Кроме того, даже полный коллапс централизованного финансирования не означает полного прекращения научных исследований, так как всегда найдутся люди, которые просто не смогут не заниматься наукой, и они будут делать это совершенно бесплатно на свой страх и риск. Но конечно, для них будет недоступно строительство гигантских экспериментальных установок. Кстати, в значительной степени именно в таком режиме существует наука в России уже сейчас. Модель не учитывает многие другие разновидности кризисных процессов в науке (напомним, прежде всего, о механизме разрыва фронта науки, о котором писал С. Лем), которые могут усугубить ситуацию. Также модель не основана на реальных исходных числовых данных.

Последнее замечание особенно важно. Реальных числовых данных нет не потому, что автору лень было их собрать, а потому, что с принципиальной точки зрения неясно, как можно объективно

оценить такие количественные характеристики, использованные в модели, как число открытий в единицу времени и стоимость одного открытия. Результаты, полученные в модели, показывают, насколько важно было бы получить метод объективной оценки этих величин и их динамики.

Предположение о том, что скорость роста стоимости науки превышает скорость роста мировой экономики, является наиболее критическим пунктом для полученных выводов, и крайне важно понять, верно это или нет. Предположение может быть и ошибочным. Без построения методики количественной оценки нужных характеристик ответить на эти вопросы невозможно. Как мы видели, другие предположения модели являются критическими в меньшей степени.

Фундаментальная наука сама по себе неоднородна. Имеются фундаментальные исследования, не требующие больших материальных затрат. Многие недавние выдающиеся открытия, например, открытие теплой сверхпроводимости или простого и дробного квантового эффекта Холла, именно этого рода. Но определенно имеется экстремально затратный сектор, связанный с самыми фундаментальными направлениями, — это фундаментальная микрофизика, фундаментальная астрофизика, экзобиология и проблема поиска разума во Вселенной (SETI). Все эти направления в обозримой перспективе объединены использованием дорогих астрофизических методик космического и наземного базирования (космические телескопы и другие космические миссии, гигантские наземные и подземные оптические, радио-, нейтринные, гравитационные и другие телескопы). Фундаментальная микрофизика еще будет требовать очень дорогой ускорительной техники, пока потенциал этого направления не будет окончательно исчерпан.

Особо отметим проблему SETI [1]. Она в настоящее время лежит далеко на периферии науки и, кроме того, дискредитирована часто недобросовестными и неквалифицированными уфологами и средствами массовой информации, а также низкопробными космическими блокбастерами. Между тем реальное решение этой проблемы совершенно бы изменило сам фон, на котором проводится обсуждение будущего науки и — более широко — будущего цивилизации. Все обсуждаемые здесь модели стали бы заведомо недействительными, а вектор эволюции земной цивилизации мог бы измениться радикальным образом [19, с. 91–115]. При этом, как показывает анализ [19, с. 89–90], решение проблемы SETI даже в довольно оптимистических вариантах является чудовищно труд-

ным и дорогим. Решение проблемы с априори заметно отличной от нуля вероятностью достигается, только если под непрерывным мониторингом держать не менее миллиона подозрительных звезд (лучше от 10 до 100 млн.), для чего необходимо строительство гигантских фазированных решеток радиотелескопов¹.

Дополнительно потребуется развитие сети инфракрасных космических интерферометров для обнаружения планет земного типа. Проблема столь трудна, что интерес к ней вполне может угаснуть раньше, чем она будет решена. Уже сейчас существует мнение, что на проблему SETI были затрачены огромные усилия, а результата что-то все нет. Это очень большая ошибка. В действительности были затрачены практически нулевые усилия по сравнению с теми, которых реально требует эта проблема для своего решения. Это направление еще не вышло из стадии чисто методических разработок.

Кстати, проблема SETI указывает еще на один изъян модели. Финансирование этой задачи, хоть и более чем скромное, все же существует (и даже медленно растет), несмотря на полное отсутствие результатов в течение длительного времени. Это говорит о том, что в общем случае нет такой жесткой связи между уровнем результатов и уровнем финансирования, как зафиксировано во второй модели. При осознании чрезвычайной важности определенных секторов науки долго могут финансироваться и при нулевой их результативности. Финансирование подобного проекта может осуществляться и за счет частных пожертвований, как, например, это имеет место для проблемы SETI. В условиях, когда наша модель предсказывает коллапс, при наличии соответствующей доброй воли законодательным или иным способом может быть установлена нижняя планка финансирования фундаментальной науки независимо от ее результативности. Такая возможность вполне согласуется с законом иерархических компенсаций Седова — Назаретяна.

Под действие рассмотренных моделей в первую очередь попадает экстремально затратный сектор фундаментальной науки. Вполне возможно, что только к этому сектору они и применимы. Можно, конечно, предполагать, что коллапс финансирования фундаментальной науки может произойти незаметно для всей осталь-

¹ Существует направление поиска сигналов искусственного происхождения в оптическом диапазоне [1]. Пока это направление не выглядит настолько дорогим, как поиск в радиодиапазоне, но в случае повышения требований к чувствительности масштабы установок и их стоимость начнут расти. — *Прим. авт.*

ной науки. Ведь была же, например, эра Великих географических открытий, да прошла, и крайне важная в свое время наука география покинула лидирующее положение в иерархии наук. Однако фундаментальная астрофизика и микрофизика, в отличие от географии, являются своеобразным острием и фундаментом человеческого познания в целом, так как они адресуют важнейшие экзистенциальные вопросы: что есть фундамент всего сущего (микрофизика) и что есть мир (астрофизика и космология)?

Личное мнение автора состоит в том, что коллапс в этой области знаний означал бы отказ от дальнейших попыток проникновения в фундамент бытия и ограничил бы науку эмерджентными явлениями верхнего системного уровня. Острие познания было бы сломано. Без надежды проникновения вглубь материи и мироздания все прочие науки приобрели бы неистребимый привкус феноменологии и сами могли бы начать стагнировать. Представляется вполне вероятным, что коллапс в двух самых фундаментальных направлениях исследований постепенно начнет распространяться по всей науке.

Не следует забывать, что продолжают действовать и кризисообразующие факторы, рассмотренные Станиславом Лемом, которые в равной степени имеют отношение ко всей науке, а также и другие упоминавшиеся и не упоминавшиеся выше факторы. Все это может способствовать развитию негативных тенденций во всей науке, не только в самых фундаментальных областях. Заметим, что кризисный процесс вполне может добраться до инновационных технологий, неразрывно связанных с наукой, а это уже может означать коллапс цивилизации современного типа, основанной на инновациях. Таким образом, рассмотренный механизм финансового коллапса фундаментальной науки может оказаться существенной составной частью вполне закономерно ожидаемого общего эволюционного кризиса науки, о котором мы говорили ранее (благодаря общему правилу смены лидера эволюции), и послужить причиной серьезнейшего цивилизационного кризиса.

Некоторые «постнаучные» сценарии

Для того чтобы вышеописанный сценарий не реализовался, должно произойти нечто экстраординарное. Наука, вероятно, должна быть заменена некоторым новым типом познавательной деятельности (более эффективным или имеющим какие-то другие преимущества). Если потенциал для преодоления этого кризиса действи-

тельно существует, то в соответствии с принципом избыточного внутреннего многообразия будущее решение проблемы в зачаточной форме должно (или, по крайней мере, может) существовать уже сейчас. Возможно, ростки этого нового в культуре человечества уже есть, надо только внимательно посмотреть, чтобы их увидеть. Что же это такое может быть? Упомянем здесь некоторые возможности и связанные с ними проблемы. Принцип избыточного многообразия будет для нас путеводной нитью – мы будем рассматривать здесь только то, что уже есть хотя бы в зачаточной форме.

1. Как уже говорилось, наука не является единственным методом познания. Существуют и другие, более древние, но здравствующие и поныне способы отражения реальности человеком – мифология, искусство, религия, философия. Может быть, какая-то из этих традиционных форм сможет взять на себя роль нового лидера в формировании вектора развития человечества? Это крайне маловероятно – эволюция не входит дважды в одну реку, а все эти формы познания уже побывали когда-то в лидерах. Если такое случится, это будет, во всяком случае, однозначным признаком деградации, а не прогрессивной эволюции.

2. Можно представить себе некоторый синтез научного познания с одним из упомянутых выше традиционных и более древних методов познания. Некоторый «возврат к корням» при сохранении науки. Такое направление мысли существует и известно как «метанаука». По моему мнению, неясно, что это может дать нового. Если воспроизводимое научное знание скрестить с одной из традиционных форм познания, не характеризующихся воспроизводимостью, то непонятно, как можно получить аппарат, приводящий к сколько-нибудь точным и полезным результатам. Приведем несколько, возможно, вульгарный пример, чтобы пояснить, в чем тут дело. Утверждение, что движение планет вокруг Солнца подчиняется законам Кеплера, принадлежит науке, оно воспроизводимо научными методами. Утверждение, что Бог существует, принадлежит религии и невоспроизводимо¹. Синтез этих утверждений

¹ Имеется в виду объективная воспроизводимость. Это понятие детально обсуждается нами в нашей статье [21]. Объективная воспроизводимость означает, что результат может быть в принципе воспроизведен путем выполнения определенного алгоритма автоматом – роботом или компьютером, пусть и очень идеализированным (современные исследования очень часто именно так и выполняются). Очевидно, что духовные практики, имеющие отношение к религии, не удовлетворяют этому определению. – *Прим. авт.*

может звучать, например, как утверждение о том, что Богу угодно, чтобы планеты подчинялись законам Кеплера. Какова ценность этого утверждения – неясно. Оно невоспроизводимо ровно в той же степени, как и утверждение о существовании Бога. Реальная ситуация, конечно, может быть сложнее и тоньше, чем этот упрощенный пример.

3. Не может ли создание искусственного интеллекта (ИИ) каким-нибудь способом обеспечить альтернативу науке, зашедшей в тупик? Это одна из возможностей, связанных с кибернетикой, которую рассматривал С. Лем в «Сумме технологий». Уже сейчас использование в научных исследованиях компьютерного численного эксперимента и компьютерного доказательства теорем означает некоторую модификацию понятия воспроизводимости и научной строгости. Но пока компьютер остается инструментом, эта модификация остается не очень принципиальной. Если же ИИ когда-нибудь обретет относительную самостоятельность и из инструмента исследователя превратится в его партнера, можно говорить о качественном изменении научного метода и рождении нового метода познания.

Однако, по нашему мнению, сейчас нет никаких указаний на то, что это может произойти в сколько-нибудь обозримом будущем. Как метко написали А. и Б. Стругацкие в повести «Беспокойство», все фундаментальные идеи выдумываются, но не висят на концах логических цепочек. Однако наши компьютеры, будучи конечными автоматами в смысле Тьюринга, умеют ходить только вдоль логических цепочек, поэтому новые фундаментальные идеи для них недостижимы. При этом мы не знаем, что такое догадка и озарение, необходимые в процессе познания и вообще в любой творческой деятельности, поэтому мы не знаем, где на самом деле «висят» фундаментальные идеи. Проблема настоящего творческого ИИ не решена до сих пор не столько потому, что она сложна, сколько потому, что мы до сих пор не умеем ее поставить.

Этот круг вопросов очень подробно обсуждается в книгах Роджера Пенроуза «Новый ум короля» и «Тени разума». Часто в популярной литературе (но не в фундаментальных научных монографиях по ИИ, которые более чем сдержанны) можно встретить рассуждения, начинающиеся словами вроде «когда ИИ превзойдет по мощности человеческий...». Авторы не очень понимают, что говорят, так как по многим параметрам (быстродействию, надежности, объему памяти) компьютеры уже давно превзошли человека, но в отношении творческих способностей развитие их находится

точно на нуле. Более того, сам путь развития в этом направлении не найден (как минимум нет принятого мнения, где этот путь пролегал). Но нуль есть нуль, и если нуль (который имеет место уже шесть десятков лет развития ИИ) экстраполировать в будущее, то получится снова нуль, поэтому пока никаких оснований ожидать от ИИ творческих чудес нет. Конечно, внезапно решение может быть найдено, но вряд ли это произойдет раньше, чем серьезные кризисные явления в науке станут реальностью. Мы едва коснулись круга вопросов, связанных с ограниченностью возможностей ИИ. Эта проблематика заслуживает гораздо более детального анализа, который мы рассчитываем дать в другом месте.

4. Еще одна возможность, имеющая отношение к развитию кибернетики, связана с тем, что человечество центр тяжести своей деятельности, в том числе и познавательной, сосредоточит не в реальном мире, а в виртуальном компьютерном мире. Тогда наука в обычном понимании станет не нужна. Пробразом этой возможности являются современные компьютерные игры и виртуальные реальности. Этот вариант С. Лем тоже рассматривал в «Сумме технологий» среди направлений, связанных с кибернетикой. Такое развитие событий возможно, но вряд ли оно могло бы обеспечить действительно прогрессивное развитие человечества, если базой останутся классические компьютеры (вроде современных, пусть и на порядки более мощных).

Проблема состоит в том, что классическая виртуальная реальность является более бедной, чем настоящая реальность, по одной очень фундаментальной причине. Настоящая реальность, в огромном числе случаев (и к ним относятся все ситуации, когда важно точно учесть поведение нескольких квантовых частиц) описывается так называемыми NP-задачами, которые принципиально не под силу классическим компьютерам, независимо от их мощности. Эти аспекты реальности на классическом компьютере не могут быть смоделированы. Многие, если не все, такие задачи могут оказаться под силу так называемому квантовому компьютеру, но это устройство существует пока только в теории. Реальные демонстрационные образцы, содержащие всего несколько квантовых ячеек памяти, не в счет, так как на их базе не реализовано главное – так называемая квантовая коррекция вычислений, без которой настоящий универсальный квантовый компьютер не будет работать. И пока совершенно неясно, можно ли воплотить идею настоящего универсального и масштабируемого квантового компьютера во что-то реальное. Из-за того, что любой виртуальный мир, смодели-

лированный на классическом компьютере, оказывается принципиально беднее действительной реальности, уход в такой виртуальный мир — скорее путь регресса, а не прогресса человечества.

5. Человечество практически прекращает познание природы и переходит к созиданию на базе накопленных знаний. Происходит поворот вектора науки от познания к «креатике». По существу, это означает, что в науке остаются только прикладные направления. Очевидно, что преобразы этой возможности уже существуют в виде реально существующей прикладной науки и инженерии. Можно также отметить, что даже в современной нормальной науке, нацеленной на познание природы, значительная часть усилий тратится на изучение не природы как таковой, а на исследование особенностей поведения аппаратуры, созданной человеком, с тем чтобы понять потом, как эта аппаратура реагирует на внешний физический мир. Здесь наука направлена не на познание природы, а на познание объектов, созданных человеком.

Наибольшие сомнения в этом сценарии связаны с устойчивостью такого вектора развития. Нет никакой уверенности, что без постоянного притока принципиально новых знаний о природе может существовать длительный прогресс человечества.

6. Последняя возможность, которую мы здесь упомянем, связана с возможным решением проблемы SETI. Работа в направлении решения этой проблемы ведется уже сейчас. И хотя она еще не решена, эта форма деятельности уже существует в виде фактора избыточного многообразия. Решение проблемы SETI может придать совершенно новое направление (и новый импульс) развитию человечества не потому, что станут доступны новые технологии по рецепту очень умных и высокоразвитых инопланетян, но потому, что доступной окажется бездна новой информации, освоить которую будет крайне нелегко и освоение которой может занять человечество на длительный срок. Это то, что мы назвали «экзонаукой» в книге [19], где обсуждаются также и многие тонкие детали этого сценария. Показано, в частности, что по некоторым формальным признакам метод экзонауки не является обычным научным методом. Основная проблема этого сценария заключается в том, что проблема SETI еще не решена и неизвестно, может ли она быть решена в принципе, как и неизвестно, существуют ли в сфере нашей досягаемости другие разумные цивилизации. Неизвестно даже, правильна ли наша постановка задачи о поиске внеземного разума.

Приведенный выше список из шести пунктов, вероятно, неполон. Этот список является, скорее, не перечислением возмож-

ностей, а их классификацией, так как в рамках каждого пункта можно предложить несколько разновидностей его реализации. Как видно, с каждым потенциальным сценарием связаны и специфические проблемы. Однозначного оптимизма не вызывает ни один из вариантов. Напомним также, что есть еще один главный сценарий, альтернативный всем перечисленным, — это масштабный выход человечества в космос и ориентация человечества на освоение дальнего космического пространства. Но, похоже, надежды на «добровольную» реализацию этого сценария в сколько-нибудь обозримом будущем невелики.

Сценарий космической катастрофы

Подчеркнем, что весь представленный выше анализ проведен с учетом того, что человечество остается на Земле. Действительно, в настоящее время ничто не указывает на стремление человечества сойти с этой линии развития. Темпы освоения космоса не просто низки, но, скорее всего, существенно ниже, чем человечество в принципе может себе позволить. Падающий интерес человечества к космосу не позволяет увеличить эти темпы. Однако ситуация может внезапно измениться совершенно независимо от склонности либо несклонности человечества к освоению космического пространства.

Представим себе, что Земле грозит катастрофа космического происхождения, которую, однако, можно предотвратить, если решить некоторую сверхсложную астроинженерную задачу. Возможным сценарием такого рода является ожидание столкновения Земли с крупным астероидом. Даже очень большой астероид можно отвести от Земли¹, но для этого потребуются большие усилия. Для решения такой задачи необходимо будет создать мощную космическую инфраструктуру, включающую транспортную космическую систему, поддерживающую интенсивный грузопоток на низкую околоземную орбиту, и систему космических буксиров, переправляющих грузы к космическому телу, представляющему опасность. Нужно будет смонтировать некий «планетарный двигатель», способный изменить орбиту астероида, что потребует инженерных решений. Если человечество намерено в таких условиях остаться в живых, оно вынуждено будет пойти на развитие всех

¹ Существует много идей, как это можно сделать, но обзор этих возможностей не входит в задачи данной статьи. — *Прим. авт.*

этих систем. После того как опасность будет отведена, человечество в качестве побочного продукта получит развитую космическую инфраструктуру, опыт серьезной работы в космосе и множество новых технологий. Сценарий «космической стагнации», лежащий в основе анализа в настоящей статье, будет нарушен.

Однако будет ли нарушение «космической стагнации» устойчивым в случае, если сценарий астероидной опасности реализуется на самом деле? Уверенности в этом нет. Если после отвода первой угрозы в обозримом будущем следующая подобная угроза просматриваться не будет, то вся развитая инфраструктура может быть заброшена и человечество вернется на исходные позиции. Примерно так произошло после реализации американской лунной программы: когда задача победы в лунной гонке между СССР и США была решена в пользу США, созданная транспортная лунная система стала всем неинтересна и больше никак не использовалась. Кроме того, сценарий астероидной угрозы представляется маловероятным, по крайней мере в перспективе ближайшей сотни лет. В современном списке потенциально опасных объектов¹ есть единственный объект с уровнем опасности 1 по десятибалльной Туринской шкале (опасность очень мала), все остальные объекты имеют нулевой уровень опасности. Таким образом, с точки зрения возможных перспектив развития науки, связанных с выходом человечества в космос, сценарий астероидной опасности большого интереса не представляет.

Однако имеется еще как минимум один сценарий космической катастрофы, который является и значительно более вероятным, чем сценарий астероидной опасности, и в определенном смысле значительно более «интересным» (эпитет «интересный» по отношению к катастрофе употреблять неприятно, но он точно отражает некоторые стороны дела). Речь идет о возможном перерастании глобального потепления, связанного с парниковым эффектом антропогенного происхождения, в парниковую катастрофу [7]. В соответствии со сценарием А.В. Карнаухова, некоторые современные климатические модели сильно недооценивают константу климатической чувствительности к концентрации углекислого газа в атмосфере из-за недоучета положительных обратных связей (главным образом, парникового эффекта паров воды). Адекватный учет основных факторов обратной связи приводит к предсказанию катастрофического роста средней температуры Земли начиная

¹ Режим доступа: <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>

приблизительно с конца XXI в., когда средняя температура повысится на 10 градусов и будет стремительно повышаться дальше. Ограничение антропогенного выброса углекислого газа, даже если меры будут предприняты немедленно, уже не сможет привести к изменению основных черт прогноза из-за высокой инерции климатической системы.

Мы не будем здесь обсуждать степень обоснованности предсказания и другие детали, связанные со сценарием парниковой катастрофы, так как не чувствуем достаточной компетенции и не это является нашей целью¹. Предположим, что предсказание в общих чертах верно. Тогда никакие локальные меры вроде ограничений выбросов CO₂, перехода к солнечной энергетике и т.д., не приведут к радикальному решению проблемы, не спасут цивилизацию, да и биосферу вообще, от гибели. Нагрев атмосферы быстро достигнет точки кипения воды и продолжится [7]. Единственным спасением в данной ситуации будет ограничение потока солнечной радиации. Этого можно достичь строительством большого солнечного экрана вблизи точки Лагранжа L1 в системе Солнце – Земля. Идея такого сооружения была предложена в статье А.В. Карнаухова [7].

Оценим возможные параметры «солнечного экрана Карнаухова»². Для того чтобы уменьшить поток солнечной радиации на 10% (это выглядит разумным), вблизи точки Лагранжа L1, на расстоянии около 1,5 млн. км от Земли, необходимо разместить экран площадью 15 млн. км². Предположим, это огромное сооружение создается из алюминиевой фольги, толщина которой будет всего около 1 микрона³. В этом случае можно обойтись без несущих конструкций. Необходимую форму элементы конструкции могут

¹ Хотя, чисто субъективно, хотел бы отметить, что выкладки А.В. Карнаухова представляются достаточно прозрачными, воспроизводимыми и убедительными. – *Прим. авт.*

² Автор настоящей статьи впервые услышал об идее создания солнечного экрана из выступления А.В. Карнаухова на семинаре в ГАИШ 21 декабря 2012 г. На этом семинаре, в частности, было коротко рассказано о параметрах и возможной стоимости такого проекта. Приводимые ниже количественные оценки и некоторые детали инженерных решений, связанных со строительством солнечного экрана, основаны на консультациях, которые автор настоящей статьи имел после этого лично с А.В. Карнауховым, и приводятся с его согласия. – *Прим. авт.*

³ Альтернативным методом является создание не отражающего, а отклоняющего прозрачного экрана, как предлагается в статье [27]. Эти детали не влияют на оценку масштаба необходимых работ. – *Прим. авт.*

удерживать за счет электростатического отталкивания – для этого достаточно поддерживать на пленке электрический заряд, проще всего – положительный, так как он естественным образом возникнет из-за фотоионизации фольги солнечным излучением. Этот способ удержания формы напоминает таковой для надувных конструкций. При толщине алюминиевой фольги в 1 микрон масса сооружения составит около 40 млн. т. Эту массу нужно будет сначала вывести на низкую околоземную орбиту и затем разогнать до второй космической скорости для вывода в точку Лагранжа.

С использованием транспортной космической системы на основе перспективных полностью многоцветных водородных (следовательно, экологически чистых) космических самолетов типа «Skylon»¹ вывод грузов на низкую орбиту обойдется примерно в 1000 долл. за кг (по современным оценкам стоимости такой транспортной системы). Еще примерно столько же нужно будет потратить на транспортировку грузов в точку Лагранжа. Полная стоимость доставки 40 млн. т пленки к месту строительства экрана обойдется тогда примерно в 80 трлн. долл. Так как один корабль типа «Skylon» позволяет вывести на орбиту около 10 т полезной нагрузки, то на проведение всей операции потребуется около 4 млн. запусков. Это означает около 200 запусков в день в течение 50 лет. Цифра может показаться абсолютно нереальной, но это не так. Старт космолана типа «Skylon» практически ничем не отличается от старта крупного пассажирского авиалайнера, и ведь уже сейчас каждый день стартуют многие тысячи таких лайнеров. При ожидаемом ресурсе одного космического самолета в 200 запусков (до капитального ремонта) для проведения работ потребуется парк в 20 тыс. орбитальных самолетов.

Монтаж конструкции солнечного экрана тоже потребует немалых затрат, но, скорее всего, значительно меньших, чем стоимость доставки грузов. С учетом того что космические самолеты должны будут производиться серийно, а доставка грузов на орбиту должна быть поставлена на поток, стоимость вывода 1 кг грузов может оказаться существенно ниже, чем по современным оценкам. Возможны и другие способы оптимизации работ, которые мы здесь не обсуждаем.

С другой стороны, возникнут некоторые дополнительные накладные расходы, которые сейчас невозможно учесть. С учетом

этих неопределенностей, сумма в 80–100 трлн. долл. представляется разумной начальной оценкой масштаба необходимых работ.

100 трлн. долл. – чудовищно большая величина. Современный мировой военный бюджет составляет 1,7 трлн. долл. в год¹. Следовательно, если все военные бюджеты будут полностью перенаправлены на строительство солнечного экрана, работа будет выполнена приблизительно за 50 лет. При всей масштабности работы, возможность ее выполнения явно не находится за пределами доступного для человеческой цивилизации. Достаточны усилия, которые сейчас направлены на изготовление средств самоистребления, перенаправить на борьбу с общим врагом – парниковой катастрофой. Однако решение задачи потребует совершенно экстраординарных объединенных усилий всего человечества и должно будет сопровождаться созданием принципиально новых организационных структур, в которых будет преодолен всякий государственный, корпоративный, идеологический и, возможно, личный эгоизм. По существу, решив эту задачу, человечество станет совсем другим, перейдет в новую фазу развития.

В отличие от сценария астероидной опасности, система, созданная в процессе строительства солнечного экрана Карнаухова, не может быть демонтирована или просто заброшена (и космическая инфраструктура, и система социальных институтов). Экран потребует постоянного обслуживания, в частности – доставки топлива для коррекции возмущений орбиты. Потребуется постоянно оптимизировать площадь экрана, производить ремонт и замену отдельных элементов. Таким образом, выйдя в далекий космос, человечество уже не сможет его покинуть, если только оно намерено продолжить свое существование.

Обратим внимание, что предложенный механизм компенсации парниковой катастрофы является в точности механизмом фазового перехода планетарной системы по каналу преодоления эндоэзогенного кризиса Назаретяна. В общих чертах он больше всего похож на Неопротерозойскую революцию, которая произошла благодаря преодолению кислородной катастрофы 1,5 млрд. лет назад. Точно так же, как прокариотная биосфера, спровоцировав кислородную катастрофу, вышла из нее эвкариотной биосферой, человечество, спровоцировав парниковую катастрофу, может выйти из нее космическим человечеством. Налицо все типичные признаки глобального планетарного фазового перехода: использование фак-

¹ Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Skylon_%28spacecraft%29

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_military_expenditures

тора избыточного многообразия (существенное возрастание роли космической индустрии), переход к поддержанию устойчивого неравновесия на более высоком уровне неравновесия (необходимость поддержания экрана в рабочем состоянии) и др. Такой фазовый переход вполне может оказаться устойчивым. Но хватит ли у человечества ума и доброй воли, чтобы прорваться в это будущее?

Космическая инфраструктура, которая должна быть создана для строительства солнечного экрана, создает совершенно новые перспективы для развития фундаментальной науки. С ее использованием могут быть сооружены гигантские экспериментальные установки космического базирования – ускорители, телескопы, что-то, может быть, совсем нам пока непонятное, – которые в земных условиях соорудить невозможно. Солнечные энергетические установки легко покроют всю необходимую потребность в энергии. Заметим, что солнечно-земная точка Лагранжа L1 является особенно удобным местом для размещения научной аппаратуры, так что обслуживание экрана можно будет легко совместить с научными исследованиями. Основной анализ, относящийся к динамике науки, проведенный в настоящей статье, в этих условиях становится недействительным, и научные перспективы такого космического человечества анализировать пока очень трудно.

Заключение

Пока переход в космическую фазу развития не произошел и проблема SETI тоже не решена, актуальным остается вопрос: как относиться к тому полученному результату, что коллапс финансирования фундаментальной науки наступает раньше при увеличении финансирования? Если это действительно так, то имеет ли смысл увеличивать финансовую поддержку фундаментальной науки, или, напротив, лучше держать науку на голодном пайке, что продлит ее существование? Для ответа на этот вопрос надо иметь в виду, что наука важна для человечества не только сама по себе, как род занятий, как важная форма культурной деятельности и как основа инновационной экономики современного типа, но и добытыми ей знаниями. Все рассмотренные выше процессы в науке должны протекать и протекают на фоне многочисленных общецивилизационных кризисных явлений – энергетического и сырьевого кризиса, генетического кризиса, парникового кризиса (см. выше) и др.

Преодолеть все эти кризисы будет крайне трудно, но чем лучше человечество будет вооружено научными знаниями, тем

больше будет шансов найти выход из всех этих эволюционных тупиков. Поэтому чем раньше мы станем обладателями возможно большего количества знаний – тем лучше. Можно сказать, что усиленная поддержка науки не только приближает будущее, но и повышает шансы в него войти. Наше мнение состоит в том, что в любом случае науку надо финансировать настолько, насколько это возможно. Ни о каком обоснованном сокращении расходов на науку не может быть и речи. И наконец, подчеркнем еще раз, что рассмотренная в статье ситуация может радикально измениться, если произойдет одно из двух событий (или оба сразу): решение проблемы SETI и переход человечества в фазу космического развития по сценарию преодоления парниковой катастрофы или каким-нибудь другим способом.

Литература

1. Гиндилис Л.М. SETI: Поиск Внеземного Разума. – М.: Физматлит, 2004. – 647 с.
2. Грин Б. Ткань космоса. Пространство, время и текстура реальности. – М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. – 601 с.
3. Гринин Л.Е., Марков А.В., Коротаев А.В. Макроэволюция в живой природе и обществе. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 247 с.
4. Джонс У., Дингелл Ч., Уайт Дж.К. Люди возвращаются на Луну и планируют задержаться там надолго // В мире науки. – М., 2008. – № 1. – С. 30–36.
5. Дьяконов И.М. Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. – М.: Восточная литература, 1994. – 384 с.
6. Капица С.П. Феноменологическая теория роста населения Земли // Успехи физических наук. – М., 1996. – Т. 166, № 1. – С. 63–80.
7. Карнаухов А.В. Роль биосферы в формировании климата Земли. Парниковая катастрофа // Биофизика. – М., 2001. – Т. 46, № 6. – С. 1138–1149.
8. Колчинский Э.И. Неокатастрофизм и селекционизм: Вечная дилемма или возможность синтеза? (Историко-критические очерки). – СПб.: Наука, 2002. – 554 с.
9. Крылов О.В. Будет ли конец науки // Российский химический журнал. – М., 1999. – Т. 46, № 6. – С. 96–106.
10. Крылов О.В. Ограниченность ресурсов как причина предстоящего кризиса // Вестник РАН. – М., 2000. – Т. 70, № 2. – С. 136–146.
11. Левантовский В.И. Транспортные космические системы. – М.: Знание, 1976. – 64 с.
12. Лем С. Сумма технологий. – М.: СПб.: Terra fantastica, 2002. – 669 с.

13. Липунов В.М. О проблеме сверхума в астрофизике // Труды Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга. – М., 2001. – Т. 67, Ч. 2. – С. 139–146.
14. Назаретян А.П. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории (Синергетика – психология – прогнозирование). – 2-е изд. – М.: Мир, 2004. – 368 с.
15. Марков А.В., Коротаев А.В. Гиперболический рост в живой природе и обществе. – М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. – 200 с.
16. Паневин И.Г., Прищепа В.И., Хазов В.Н. Космические ядерные ракетные двигатели. – М.: Знание, 1978. – 63 с.
17. Панов А.Д. Методологические проблемы космологии и квантовой гравитации // Современная космология: Философские горизонты / Под ред. В.В. Казютинского. – М.: Канон+ РООИ Реабилитация, 2011. – С. 185–215.
18. Панов А.Д. Природа математики, космология и структура реальности: Объективность мира математических форм // Космология, физика, культура / Под ред. В.В. Казютинского. – М.: ИФ РАН, 2011. – С. 191–219.
19. Панов А.Д. Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI). – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 208 с.
20. Паршев А.П. Почему Америка наступает. – М.: Астрель, 2002. – Режим доступа: <http://lib.ru/POLITOLOG/PARSHEW/amerika.txt>
21. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований; НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – 912 с.
22. Поиск оптических сигналов ВЦ в САО – прошлое, настоящее, будущее / Бескин Г.М., де-Бур В., Карпов С., Плохотниченко В., Бондарь С. // Бюллетень специальной астрофизической обсерватории. – Архыз, 2007. – Т. 60–61. – С. 217–225.
23. Седов Е.А. Информационные критерии упорядоченности и сложности организации структуры систем // Системная концепция информационных процессов: Сб. тр. ВНИИ системных исследований. – М., 1988. – Вып. 3. – С. 37–46.
24. Семенов С.А. О финансировании науки в России и в Америке. – 2010. – Режим доступа: <http://www.proza.ru/2010/05/18/437>
25. Хорган Дж. Конец науки. Взгляд на ограниченность знания на закате Века Науки. – СПб.: Амфора, 2001. – 480 с.
26. Angel R. Feasibility of cooling the Earth with a cloud of small spacecraft near the inner Lagrange point (L1) // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – Wash., 2006. – Vol. 103, N 46. – P. 17184–17189.
27. Smolin L. How far are we from the quantum theory of gravity? – Mode of access: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185>

А.Э. Анисимова

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ: ВОПРОСЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Ключевые слова: высшее образование, финансирование, страны Азии, страны Африки, человеческий капитал, качество образования.

Keywords: higher education, finance, Asian countries, African countries, human capital, quality of education.

Аннотация: В связи с тем, что высшее образование становится в мире все более массовым, широко дискутируется идея распространения частного капитала на эту сферу. Однако на пути ее реализации встает проблема невозврата средств. Для того чтобы инвестиции были выгодными, требуется по-новому взглянуть на проблему качества образования, а также максимально снизить риски для потребителей кредитов (студентов). К возможным мерам минимизации рисков относятся: снижение процентной ставки, невыплаты по процентам в течение срока обучения, возвращение кредита в зависимости от трудоустройства и размера зарплаты.

Abstract: Higher education is widely expanded in our days. As a result private capital is in demand. But not all graduates are capable to return loans. The problem of quality of education is very important in this case. And the next step is how to decrease risks for students. There are some ways, how to decrease risks: to minimize interest rate, to abolish interest rate payment during the course, to return loan after employment.

В 60-е годы XX в. в США стали появляться радикальные идеи о том, что человека можно считать такой же материальной ценностью, как акции, ценные бумаги, золото или недвижимость. Новая теория предполагала, что в человека, как и в ценные бумаги, можно вкладывать деньги. При этом допускалось, что со временем