

Наука, эволюция, ресурсы

А.Д. Панов.

1. Введение. 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, что поступательный количественный рост («технологический взрыв») человеческой цивилизации может быть 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 как минимум 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. Вот только некоторые примеры (Левантовский 1976:37). 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 гг. в качестве проектов ближайшего будущего рассматривалось строительство 90-метрового субмиллиметрового орбитального телескопа. В по данным американской печати на 1975 год к 2000 году предполагалось ввести в строй космическую солнечную электростанцию на стационарной орбите со сроком эксплуатации 30 лет, мощностью 5 млн. кВт, с площадью солнечных батарей 45 км². Другие примеры связаны с предполагаемым использованием ядерных ракетных двигателей (которые даже были созданы и испытывались (Паневин, Прищепа, Хазов 1978:34)), с полетом на Марс и т. д. – не будем на этом останавливаться. Существующие планы освоения космоса не обещают очень быстрого прогресса. Если бы Нилу Армстронгу в 1969 году (год первой высадки на Луне) сказали, что через 50 лет на Луну будут летать на несколько модифицированном Аполлоне (об американской лунной программе см. (Джонс, Дингелл, Уайт 2008)), он вряд ли в это поверил бы. Хотя освоение космического пространства понемногу продолжается, но 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 следует ожидать появления указаний на прекращение роста цивилизации по основным экстенсивным показателям. Действительно, такие явления есть. Наиболее известно явление глобального демографического перехода, исследованное, в частности, в трудах С. П. Капицы (см. например, (Капица 1996)). Это явление заключается в том, что население Земли вошло в фазу стабилизации численности (что сопровождается также радикальным изменением половозрастного состава). При этом наиболее развитые в экономическом отношении страны уже завершили демографический переход – их население полностью стабилизировано, а в ряде случаев есть признаки депопуляции.

Нечто подобное должно произойти и с мировым валовым продуктом, т. е. можно говорить о предстоящем экономическом переходе, аналогичном демографическому переходу. Если это не произойдет, неизбежно катастрофически быстрое исчерпание материальных ресурсов Земли и, по всей видимости, катастрофические же экологические последствия.



Подробное обсуждение явления экономического перехода могло бы быть темой отдельной большой статьи, здесь же мы его будем рассматривать только как одно из исходных предположений в дальнейшем анализе, поэтому лишь кратко поясним, о чем идет речь. Действительно, из самых общих соображений ясно, что среднемировой уровень индивидуального потребления в перспективе придется ограничить на довольно невысоком уровне. Сейчас по уровню душевого дохода различные страны отличаются на два порядка величины, и простой подсчет показывает, что для того, чтобы довести уровень жизни во всем мире до уровня жизни в США (что многие хотели бы), производство всех благ в мире нужно увеличить не менее чем в 100 раз (Крылов 2000). Это абсолютно невозможно, так как пока нет способа увеличивать уровень жизни без наращивания потребления материальных ресурсов и энергии. При таком уровне потребления – даже при самых оптимистических прогнозах относительно развития ресурсосберегающих технологий и замкнутых производственных циклов – невозможные ресурсы Земли будут исчерпаны в лучшем случае за несколько лет, а соответствующее производство энергии приведет к перегреву атмосферы. 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. Поэтому уровень жизни в США представляется некоторым абсолютно непроходимым верхним пределом в уровне жизни, 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, поэтому вместе с ограничением роста населения ограниченность среднего душевого дохода означает фактически и ограниченность максимально возможного мирового продукта.

Аналогичная проблема связана с дефицитом воды, эрозией и засолением почв и производством продуктов питания. Этот фактор уже сейчас сказывается самым серьезным образом. Утверждается, что среднее душевое потребление продуктов питания населением Земли достигло максимума в районе 1985-1990 гг. и с тех пор падает (Крылов 2000), 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 (Паршев 2002), что «...реальный жизненный уровень в США начиная с 1970-х гг. не увеличивается, а реальная заработная плата 80% работающих даже понижается»¹. По мнению многих американцев (что автору настоящей статьи известно из личных контактов) максимум уровня жизни в США был достигнут даже еще раньше – в начале 1960-х, и с тех пор только медленно падает. Это напоминает ситуацию с демографическим переходом – экономический переход происходит раньше в наиболее экономически развитых странах. Гигантский мировой скачок цен на нефть и продукты питания в 2007-2008 гг. тоже вполне может оказаться в ряду явлений, связанных с экономическим переходом, так как очевидным образом ограничивает потребление. Последующее падение цен на нефть в связи с мировым экономическим кризисом конца 2008 года не вносит в картину ничего качественно нового: даже в минимуме цены на нефть оставались в несколько раз выше, чем за 8-10 лет до того. Есть основания ожидать, что в обозримой перспективе цены будут расти и дальше (что не отменяет колебаний цен в краткосрочной перспективе), ограничивая рост мировой экономики.

Эти данные не дают возможности предсказать в точности, что произойдет в отдаленной перспективе: стабилизация, или, возможно, падение среднего уровня жизни на планете вместе с уровнем совокупного мирового продукта. Возможен и медленный поступательный рост и того и другого, в частности – за счет постепенного освоения космического пространства и

¹ Автор настоящей статьи знакомился с книгой А.П. Паршева «Почему Америка наступает» по официальному интернет-изданию, снабженному специальным предисловием Паршева. Приведенная цитата находится в главе «А ТАК ЛИ УЖ НУЖНА ЭТА САМАЯ НЕФТЬ?» См., например, <http://lib.ru/POLITOLOG/PARSHEW/amerika.txt>

выноса части промышленности и производства энергии в космос. Освоение космоса, ведь, хоть и крайне медленно, но продолжается. Но ясно, что совершенно исключен рост в режиме «технологического взрыва» XIX-XX столетий. Это позволяет в первом приближении исходить из модели стабилизации мировой экономики на постоянном уровне и принципиальной ограниченности материальных ресурсов и отдельно обсуждать возможные отклонения от этого сценария. Мы и будем придерживаться этой линии.

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

2. 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, 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 фиксированы два основных способа получения результатов, приводящих к понятию воспроизводимости – это, во-первых, воспроизводимый опыт и, во-вторых, математическая дедукция. Будем называть наукой метод познания, приводящий к воспроизводимым результатам на основе комбинированного использования воспроизводимого опыта и математической дедукции.

Для большей ясности приведем простой практический пример использования этого определения. Из него 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 утверждений. В философии отсутствует (или распространено крайне мало) понятие философского доказательства. 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 и здесь настоящая логическая строгость в философии нередко уступает место правдоподобию). В этом смысле философия несколько напоминает античную математику. В античной математике аксиомы (например, геометрии) считались самоочевидно *истинными*, и из этих истин логически выводились следствия. В отличие от античной математики, в современной математике аксиомы не считаются истинными ни в каком смысле, и все, что утверждается – это что из определенного набора аксиом можно вывести определенные следствия. То есть, математика имеет дело с математическими моделями, вопрос об истинности которых не ставится. Имеет смысл только вопрос об их непротиворечивости и полезности в каких-то отношениях.

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 обсуждения².

² Отметим модификацию понятия воспроизводимого опыта, когда речь идет, например, о наблюдениях уникальных астрофизических событий, вроде взрыва сверхновой 1987А в Магеллановом облаке, или об использовании уникальных по определению экспериментальных установок, которые человечество может позволить себе иметь

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.

Отметим некоторые важные черты эволюционного процесса. Мы будем исходить из представления, согласно которому эволюция как человеческой цивилизации, так и биосферы, в значительной степени имеет характер прерывистого равновесия (Назаретян 2004; Колчинский 2002:420-423; Дьяконов 1994; Панов 2008:27-36) и глобально представлена последовательностью фаз и фазовых переходов между ними. В течении периодов относительно спокойного развития происходит количественный рост и (или) плавный рост разнообразия системы, но способность системы удерживать равновесие постепенно исчерпывается (по причинам, на которых мы здесь не будем подробно останавливаться, см. по этому поводу цитированную выше литературу), что приводит к возникновению кризиса – цивилизационного или биосферного. Кризис разрешается 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 (присваивающее производство сменяется более сложным производящим, 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 (Назаретян 2004:228-230). 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 и т. д. Можно привести множество подобных примеров.

В контексте представлений о прерывистом равновесии наука предстает типичным явлением эволюции. Становление научного метода сопровождало промышленную революцию XV-XVI веков (внедрение механизированного промышленного 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, явилась ответом на этот эволюционный кризис, что и обеспечило выход из эволюционного тупика (Назаретян 2004:133). Таким образом, наука была важнейшим 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 цивилизации. Наука существовала в форме избыточного многообразия еще до Бэкона, Галилея и Ньютона.

в единственном экземпляре, например коллайдер LHC. Отметим модификацию понятия математической дедукции, когда речь идет и машинных доказательствах теорем, которые человек не способен воспроизвести, или о любых других очень масштабных машинных вычислениях.

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 религия и философия 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 несколько редуцированном виде. Это является частным случаем закона иерархических компенсаций Е. А. Седова (Седов 1988) (термин принадлежит А. П. Назаретяну (Назаретян 2004:225)). 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.

Это чувствуют многие, что породило обширную литературу, посвященную «концу науки». Приведем для примера лишь пару ссылок на современные работы этого типа (Хорган 2001; Крылов 1999). Одним из первых, и, в то же время, одним из наиболее глубоких (по мнению автора настоящей статьи) исследователей этой проблемы был Станислав Лем. В книге «Сумма технологии» (Лем 2002), написанной им в 1963 году, подробно обосновывается тезис (Лем 2002:132): «Нам представляется, что у лавинообразного метода познания есть свой потолок и, более того, мы вскоре уже его достигнем» (под лавинообразным познанием Лем понимает именно стремительно расширяющееся познание научным методом, характерное для времени написания его книги). Лем рассматривает это ограничение как потенциальную причину серьезнейшего цивилизационного кризиса, и большая часть книги (примерно 3/4) посвящена вопросу, *что происходит с цивилизацией, оставшейся без науки* (Лем 2002:141).

Надо сказать, что такая постановка вопроса в свое время произвела ошеломляющее впечатление на автора настоящей статьи. Мне даже представляется, что это наблюдение является самым важным в «Сумме», и это самое главное содержание отнюдь не понято большинством читателей до сих пор. Причина же этого в том, что Лем очень сильно опередил свое время. Когда вспоминают книгу Лема, то обычно цитирование относится к последним 3/4 книги, при этом считается, что там Лем писал о кибернетике как о части науки (выращивание информации, фантоматика и прочее). 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 иссле-

дует существенно всё, что входит в ее сферу, так как никто заранее не может предугадать, что окажется важным, а что – нет, и где именно произойдет фундаментальный прорыв. Внутренние связи науки рвутся, важные возможности неизбежно оказываются упущенными, наука теряет свою эффективность и, в конце концов, деградирует.

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 (Липунов 2001). 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 заключительном разделе 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 сценарию³, 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 всех их перечислять и обсуждать в этой статье, но остановимся на одном явлении, которое, по нашему мнению, может оказаться важнее других. Речь идет о ресурсных ограничениях на фоне грядущего экономического перехода.

По мере накопления знаний о природе, добытых научным методом, получение новых фундаментальных знаний обходится все дороже и дороже. К сожалению, рост эффективности научных методик не компенсирует роста сложности задач. Действительно, если в XIX и в первой половине XX века большинство наиболее фундаментальных открытий делалось либо учеными-одиночками, либо очень небольшими группами, то с середины XX века на фундаментальных направлениях, как правило, работали уже крупные коллаборации, а в последней четверти – 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 году (по причине дороговизны), что привело практически к стагнации области физики элементарных частиц на полтора десятилетия. Мы еще будем возвращаться к этому важному примеру. Снижение потока новых научных результатов запускает очень

³ Можно отметить, например, конкуренцию петлевой квантовой гравитации, теории суперструн и некоторых других подходов в качестве кандидатов на роль самой фундаментальной физической теории (Smolin 2003, Генроуз 2007:724-847). 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 (экспиротические сценарии) могут быть почти совершенно неотличимыми по наблюдательным проявлениям, не имея при этом ничего общего в физике (Greene 2004:407-410).

опасный для науки процесс. Снижение потока открытий снижает интерес общества к науке. Снижение интереса к науке влечет уменьшение средств, выделяемых на науку. Причем в первую очередь под ударом оказываются самые фундаментальные направления, так как они находятся дальше всего от потребительских интересов общества, и 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 прогрессивное падение числа открытий, что приводит к дальнейшему падению популярности науки и т. д. – так замыкается петля положительной обратной связи. Это может породить лавинообразный процесс коллапса фундаментальной (в первую очередь) науки, точнее – коллапс ее финансирования. Процессы могут оказаться столь стремительными, что участники событий даже не смогут толком понять, что происходит.

3. 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.

3.1. Описание модели

Модель строится на основе системы рекуррентных соотношений с квантом времени 5 лет. 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 к некоторым из этих 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 2000 году, 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.

Предположение 2. Уровень затрат на науку в пятилетку пропорционален совокупному мировому продукту в ту же пятилетку (чем больше денег, тем лучше финансируем науку) и пропорционален количеству открытий в предыдущую пятилетку (если наука работала хорошо, то есть 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. 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 пятилетку с началом в момент $T + 5$, $n(T)$ – число открытий в пятилетку 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 нуковедения, которую мы не пытаемся решить в настоящей работе. Субъективно – это количество событий (возможно, как-то включается «вес» каждого события), вызывающих эмоциональную реакцию вроде: «да, это что-то действительно новое!». Количество опубликованных научных статей не имеет прямой связи с количеством научных открытий.

Предположение 3. Количество открытий в некоторую пятилетку увеличивается пропорционально росту затрат по сравнению с затратами в прошлую пятилетку 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 пятилетку T в некоторых относительных единицах. По нашему предположению, стоимость одного открытия как-то 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; $e = 2,71828\dots$

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 , решая уравнения, шаг за шагом находим затраты на науку и число открытий в каждую пятилетку 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 пятилетку $n(T_0) = 1$ (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 просто из соображений удобства, чтобы в результате получались разумные масштабы времени для основных особенностей решения. В основном варианте расчетов принималось, что доля расходов на науку никогда не может превышать 2,5% от мирового продукта.

3.2 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. 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 обратной 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 очень «реалистичными» (на субъективный взгляд автора, 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 пятилетку 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 падал. Это связано с увеличением стоимости единичного открытия по мере накопления суммы знаний о природе. Хотя длительное время снижение потока открытий не сказывается на финансировании науки, но 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.

Теперь в порядке обсуждения основного результата мы рассмотрим некоторые вариации основной базовой модели.

3.3 Влияние активной политики финансирования науки на ее динамику

Прежде всего, немедленно возникает вопрос, что можно изменить в этом сценарии при реализации какой-либо активной финансовой политики в отношении науки. Первое, что приходит в голову – нельзя ли отсрочить возникновение финансового коллапса за счет постепенного повышения потолка финансирования науки? Предположим, что начиная с 10 года (в нашей условной шкале времени), когда падение эффективности науки уже становится довольно заметным, финансирование науки начинает увеличиваться в линейном режиме таким образом, чтобы к 300-му году достигло 20% мирового дохода (вместо 2,5% в 10 году). На рис. 4 видно, как растут расходы, и как начиная с 10 года из-за этого возрастает поток открытий. Однако, совершенно неожиданно, коллапс финансирования науки наступает *раньше*, чем при более низком уровне финансирования. Более того, коллапс наступает раньше, чем расходы на науку достигают своего предельного уровня в 20%. На первый взгляд, это совершенно контринтуитивный результат: усиленная поддержка науки приводит лишь к ее более раннему коллапсу.

Понять, почему это происходит, можно, если проследить за ростом полного интеграла накопленного научного знания при постоянном и при растущем режиме финансирования. На рис. 5 видно, что в обоих случаях коллапс науки происходит при почти одном и том же значении полного интеграла знаний. При растущем финансировании финальная сумма знаний оказывается даже несколько больше, несмотря на более раннее завершение процесса накопления знаний. Интерпретация этого результата состоит в следующем. Коллапс науки 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». Просто быстрее обрываются «нижние груши», а до верхних груш все равно не достать. Это похоже на то, как будто существует почти неподвижная и почти неподвижная граница доступной области фундаментальных знаний, которую вы тем быстрее достигнете, чем быстрее будете к ней приближаться.

Результат кажется парадоксальным только на первый взгляд. В действительности, очень похожие события можно обнаружить уже сейчас, если рассмотреть 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) был закрыт проект гигантского сверхпроводящего суперколлайдера SSC) в США. Из-за этого физика элемен-

тарных частиц по крайней мере на 15 лет впала в состояние стагнации и продолжала вялое существование в ожидании реализации проекта другого, более слабого и дешевого коллайдера LHC (ожидается начало работы в строй в 2009-10 гг.). После того, как LHC будет запущен, физика элементарных частиц получит новое дыхание, и по крайней мере до 2020 года 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 столь фантастических денег, что вряд ли человечество пойдет 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 (и даже несколько большей, так как SSC должен был быть мощнее LHC), мы обладали бы уже сейчас, но и ускорительная физика на циклических ускорителях уже теперь прекратила бы свое существование. Этот сценарий довольно точно соответствует тому, что наша модель предсказывает для фундаментальной науки в целом. Есть надежда, что к 2020 году будет построен новый линейный ускоритель (ILC – International Linear Collider), тогда ускорительная физика частиц продолжит свое существование еще какое-то время. Но эта гигантская машина (длина туннеля ускорителя 35 км) вполне может оказаться последней уже 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.

3.4 Предположения о скорости роста стоимости науки

Насколько критичным является предположение об экспоненциально быстром росте стоимости науки? На рис. 6 показаны результаты расчетов для модели 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. 6, соответствующие квадратичному росту, отличаются в деталях от графиков на рис. 4 и 5, соответствующих экспоненциальному росту, основные качественные особенности динамики, которые мы отмечали выше – те же самые. 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).

Нетрудно догадаться, что справедлив общий результат, который заключается в том, что 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. Иллюстрация этого вывода более детально рассмотрена в разделе 3.5. 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.

3.5 Предположение о стабилизации уровня мирового продукта

Рассмотрим, насколько критическим для поведения модели является предположение о полной стабилизации мирового продукта. Вопрос состоит в том, не может ли рост мирового продукта воспрепятствовать предсказанному моделью коллапсу финансирования науки. Нет смысла рассматривать сценарии, в которых мировой продукт со временем растет очень быстро – экспоненциально, квадратично и т. д., так как такие сценарии в любом обозримом будущем заведомо исключены. Мы приводим результаты для модели линейного⁴ роста миро-

⁴ Более точно – речь идет о наличии дополнительного линейного множителя к стандартной модели с полной стагнацией экономики, который приводит к асимптотически линейному росту.



вого продукта начиная с времени $T = 0$ (рис. 7) в сочетании с основной моделью экспоненциального роста стоимости науки и в предположении ограничения расходов на науку на уровне 2,5% от мирового продукта (также как в основном варианте расчета). Линейный рост был выбран таким, что для $T = 200$ мировой продукт превышает показатели основного варианта расчета со стабилизацией в два раза, для $T = 300$ – в три раза, и т. д. На рис. 8 показаны предсказанные моделью затраты на науку и количество открытий в пятилетку в зависимости от времени. Первое, что можно заметить, это что коллапс науки никуда не исчез. Это происходит из-за того, что скорость стоимости науки превышает скорость роста мирового продукта (как и следовало ожидать, см. раздел 3.4). Но в расчете появилась новая деталь: осцилляции, имеющие характер коротких всплесков, после первого коллапса финансирования. Что это такое?

Смысл этих осцилляций, как нам представляется, может состоять примерно в следующем. После очередного обвала финансирования науки мировой продукт (как заложено в модель руками) 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.

Скорее всего эти осцилляции являются артефактом модели. 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. Главное – коллапс происходит, если скорость роста стоимости науки превышает темпы роста мировой экономики.

4. 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. Действительно, полученные выводы могут не понравиться, но основные предположения модели четко сформулированы и открыты для анализа и критики.

Заметим, также, что в модели имеются заведомые переупрощения. Так, например, динамика науки рассматривается на фоне заданной динамики мирового дохода, и мы полностью пренебрегали возможными обратными связями. 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 может сохраниться, в рамках закона иерархических компенсаций Седова. Кроме того, даже полный коллапс централизованного финансирования не означает полного прекращения научных исследований, так как всегда найдутся люди, которые просто не могут 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 очень значительной степени именно в таком режиме существует наука в России. Модель не учитывает многие другие разновидности кризисных процессов, имеющих место в науке (напомним, прежде всего, о механизме разрыва фронта науки, о котором писал 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. Важно также, что 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. Ясно, что 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.

Важно также отметить, что фундаментальная наука сама по себе неоднородна. Имеются фундаментальные исследования, не требующие очень больших материальных затрат, и многие выдающиеся открытия, как, например, открытие теплой сверхпроводимости или простого и дробного квантового эффекта Холла, сравнительно недавно были сделаны именно этим способом. Но, определенно, имеется *экстремально затратный сектор*, связанный как раз 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 очень 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 будет требовать дополнительно еще очень дорогой ускорительной техники, пока потенциал этого направления не будет окончательно исчерпан.

Особо отметим проблему SETI (Гиндилис 2004). Она в настоящее время лежит далеко на периферии науки и, кроме того, сильно заболтана часто недобросовестными и неквалифицированными уфологами и средствами массовой информации, а также низкопробными космическими триллерами. 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 и вектор эволюции земной цивилизации мог бы измениться крайне радикальным образом (Панов 2008:91-115). При этом, как показывает анализ (Панов 2008:89-90), решение проблемы SETI даже в довольно оптимистических вариантах является чудовищно трудным и дорогим. Реальное решение проблемы с априори заметно отличной от нуля вероятностью достигается, только если под непрерывным мониторингом держать порядка миллиона подозрительных звезд, для чего необходимо строительство гигантских фазированных решеток радиотелескопов⁵. Плюс требуется еще развитие сети инфракрасных космических интерферометров для обнаружения у звезд планет земного типа, чтобы не вести поиски совершенно вслепую, и выяснить заранее, какие именно звезды являются подозрительными. 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, так стоит ли и продолжать? Это очень большая ошибка. В действительности были затрачены практически нулевые усилия по сравнению с теми, которых реально требует эта проблема для своего решения. Фактически, 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, но все же существует (и даже медленно растет), несмотря

⁵ Существует направление поиска сигналов искусственного происхождения в оптическом диапазоне (Бескин 2007). 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.

на полное отсутствие результатов в течении очень длительного времени. Это говорит о том, что в общем случает нет такой жесткой связи между уровнем результатов и уровнем финансирования, как предполагалось в предположении 2 модели (см. раздел 3.1). При осознании чрезвычайной важности, определенные секторы науки долго могут финансироваться и при нулевой их результативности (хотя источники финансирования могут оказаться в этом случае «нетрадиционными», например – частные пожертвования, как это в значительной степени имеет место для пробюлемы SETI). Это говорит о том, что в условиях, когда наша модель предсказывает коллапс, при наличии соответствующей доброй воли законодательным или каким-то иным способом в принципе может быть установлена нижняя планка финансирования фундаментальной науки независимо от ее результативности. Вот только насколько это реально? Впрочем, такая возможность вполне согласуется с законом иерархических компенсаций Седова.

Под действие рассмотренных моделей в первую очередь попадает экстремально затратный сектор фундаментальной науки. Вполне возможно, что только к этому сектору, в какой-то степени, они и применимы. Можно, конечно, предполагать, что коллапс финансирования только в этом секторе может произойти совершенно незаметно для благополучной динамики всей остальной науки. Ведь была же, например, эра Великих географических открытий, да прошла. Крайне важная в свое время наука география покинула лидирующее положение в человеческом познании – и ничего, наука продолжила благополучное существование. Однако фундаментальная астрофизика и микрофизика, в отличие от географии, являются своеобразным и острием, и фундаментом человеческого познания вообще, в целом, так как они адресуют вопрос, что есть материальный фундамент всего сущего. Коллапс в этой области 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 все прочие науки приобрели бы неистребимый привкус феноменологии и сами могли бы начать стагнировать. Представляется вполне вероятным, что коллапс в самой фундаментальной области исследований постепенно начнет распространяться по всей науке. Не следует забывать, что ведь продолжают действовать и кризисобразующие факторы, рассмотренные Станиславом Лемом, которые в равной степени имеют отношение ко всей науке, а также и другие упоминавшиеся выше и не упоминавшиеся факторы. Все это может способствовать развитию негативных тенденций в науке. 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 в разделе 2 (благодаря общему правилу смены лидера эволюции), и послужить причиной серьезнейшего цивилизационного кризиса.

5 Некоторые «постнаучные» сценарии

Положение представляется достаточно серьезным. Для того, чтобы избежать реализации описанного выше сценария (если предсказания модели действительно имеют какое-то отношение к действительности) и преодолеть отвечающий ему цивилизационный кризис, должно произойти нечто экстраординарное. Наука, вероятно, должна быть заменена некоторым новым типом познавательной деятельности (более эффективным, или имеющим какие-то другие преимущества), либо вектор развития цивилизации еще каким-то парадоксальным образом должен будет радикально измениться. Если потенциал для преодоления этого кризиса действительно 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 только то, что уже есть хотя бы в зачаточной форме; никаких фантазий.

1. Как уже говорилось, наука является не 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 проблема здесь в том, что 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, грубый) пример, чтобы пояснить, в чем тут дело. Утверждение, что движение планет вокруг Солнца подчиняется законам Кеплера, принадлежит науке и воспроизводимо. Утверждение, что Бог существует, принадлежит религии и невоспроизводимо. Синтез этих утверждений 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 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 Станислав 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, что такое догадка и озарение, необходимые в процессе познания и вообще в любой творческой деятельности, мы не знаем, 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». В том числе, подробно обсуждается, почему связь конечного автомата с реальной случайной внешней средой (очень распространенный контраргумент энтузиастов ИИ) ничего принципиально не меняет. 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 пролегает). Но нуль есть нуль, и если нуль (который имеет место уже

шесть десятков лет) экстраполировать в будущее, то получится снова нуль, поэтому пока никаких оснований ожидать от ИИ творческих чудес нет. Конечно, внезапно решение может быть найдено, но нет никаких оснований предполагать, что это произойдет раньше, чем серьезные кризисные явления в науке станут реальностью.

4. Еще одна возможность, связанная с развитием 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. Прообразом этой возможности являются современные компьютерные игры и виртуальные реальности. Этот вариант Станислав Лем тоже рассматривал в «Сумме технологий» среди направлений, связанных с кибернетикой. Такое развитие событий возможно, но вряд ли оно может обеспечить действительно прогрессивное развитие, если базой останутся классические компьютеры (вроде современных, пусть и на порядки более мощных). Проблема состоит в том, что такая 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 случаи, когда важно точно учесть поведение нескольких квантовых частиц) описывается так называемыми NP-полными задачами, которые принципиально не под силу классическим компьютерам. 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 (существующие демонстрационные образцы, содержащие всего несколько квантовых ячеек, 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 квантового компьютера во что-то реальное.

5. Человечество практически прекращает познание природы, и почти полностью 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 прообразы этой возможности существуют уже сейчас в виде реально существующей прикладной науки и инженерии. Можно также отметить, что даже в современной нормальной науке, нацеленной на познание природы, очень значительная часть усилий тратится на изучение не природы как таковой, а на исследование особенностей поведения аппаратуры, созданной самим же человеком, с тем, чтобы воспользоваться потом этими знаниями, чтобы понять, как эта аппаратура реагирует на внешний физический мир. Здесь наука направлена не на познание природы, а на познание объектов, созданных человеком. «Креатика» предполагает именно такой характер для значительной части познавательной деятельности. Наибольшие сомнения в сценарии «креатики» связаны с устойчивостью развития. Нет никакой уверенности, что без постоянного притока принципиально новых знаний о природе может существовать длительный прогресс на основе развития, фактически, лишь технологий.

6. Последняя возможность, которую мы здесь упомянем, связана с возможным решением проблемы SETI. Работа по проблеме SETI ведется уже сейчас, и хотя проблема еще не решена, но эта форма деятельности уже существует в виде фактора избыточного многообразия. Решение проблемы SETI может придать совершенно новое направление (и новый импульс) развитию человечества вовсе не потому, что станут доступны новые технологии по рецепту очень умных и высокоразвитых инопланетян, но потому, что могут стать доступными бездны новой информации, освоить которую будет крайне нелегко и освоение которой может занять человечество весьма специфической внеучной культурной деятельностью на очень длительный срок. Это то, что мы назвали «экзонаукай» в книге (Данков 2008), 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 любым способом другие разумные цивилизации. Неизвестно даже, правильна ли наша постановка задачи о поиске внеземного разума.

Приведенный выше список из шести пунктов, вероятно, неполон, и даже этот список является не перечислением возможностей, а лишь их классификацией, так как в рамках каждого пункта можно предложить несколько различных разновидностей его реализации. Как видно, с каждым потенциальным сценарием связаны и специфические проблемы. Однозначного оптимизма у нас не вызывает ни один из вариантов. Возможны также сценарии, основанные на нетривиальных комбинациях рассмотренных возможностей. 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 реализацию этого сценария в сколько-нибудь обозримом будущем невелики (см. Введение).

6 Заключение

Как относиться к полученному результату, что коллапс фундаментальной науки наступит раньше при увеличении финансирования науки? 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 меть ввиду, что наука важна для человечества не только сама по себе, как важная форма культурной деятельности и как основа инновационной экономики, 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 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. Тем более что накопленная сумма знаний может подготовить становление новых (пока гипотетических) методов познания, более эффективных чем классический научный метод, о чем мы упоминали выше. Можно сказать, что усиленная поддержка науки не только приближает будущее, но и повышает шансы в него прорваться. Наше мнение состоит в том, что в любом случае науку надо финансировать настолько, насколько это возможно, и даже больше.

Работа поддержана грантом РФФИ 07-06-00-300.

Литература

Бескин Г.М., де-Бур, В., Карпов С., Плохотниченко В., Бондарь С. 2007. Поиск оптических сигналов ВЦ в САО – прошлое, настоящее, будущее. Бюллетень специальной астрофизической обсерватории. Т.60-61:217-225

Гиндилис Л. М. 2004. SETI: Поиск Внеземного Разума. М.: Физматлит.

Джонс У., Дингелл Ч., Уайт Дж. К. 2008. Люди возвращаются на Луну и планируют задержаться там надолго. В мире науки, №1(2008).

Дьяконов И. М. 1994. Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. М.: Восточная литература.

Капица С. П. 1996. Феноменологическая теория роста населения Земли. Успехи Физических Наук, 166/1, 63-80.

Колчинский Э. И. 2002. Неокатастрофизм и селекционизм: Вечная дилемма или возможность синтеза? (Историко-критические очерки). СПб.: Наука.

Крылов О. В. 1999. Будет ли конец науки. Российский Химический журнал, 46/6:106



- Крылов О. В. 2000. Ограниченность ресурсов как причина предстоящего кризиса. Вестник РАН, 70/2:136-146.
- Левантовский В. И. 1976. Транспортные космические системы. М.: Знание.
- Лем Станислав. 2002. Сумма технологии. М., С.-П.: Terra Fantastica.
- Липунов В. М. 2001. О проблеме сверхразума в астрофизике. Труды Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга. Т. 67, ч. II: 139-146.
- Назаретян А. П. 2004. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. (Синергетика – психология – прогнозирование): 2-е изд. М.: Мир.
- Паневин И. Г., Прищепа В. И., Хазов В. Н. 1978. Космические ядерные ракетные двигатели. М.: Знание.
- Панов А. Д. 2008. Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI). М.: Издательство ЛКИ (URSS).
- Паршев А. П. 2002. Почему Америка наступает. М.: АСТ, Астрель
- Пенроуз Роджер 2007. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика».
- Седов Е. А. 1988. Информационные критерии упорядоченности и сложности организации структуры систем. В кн.: Системная концепция информационных процессов. Сборник трудов ВНИИ системных исследований, вып. №3. М.: ВНИИСИ. С.39
- Хорган Дж. 2001. Конец науки. Взгляд на ограниченность знания на закате Века Науки. С.-П.: Амфора/Эврика.
- Smolin Lee. 2003. How far are we from the quantum theory of gravity? arXiv:hep-th/0303185 (<http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185>)
- Greene Brian. 2004. The fabric of the cosmos. Space, time and the texture of reality. NewYork: Alfred A. Knopf.



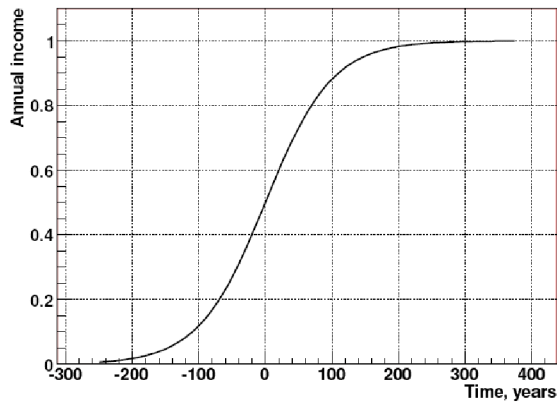


Рис. 1. Модель зависимость мирового продукта от времени, представляющая экономический переход.

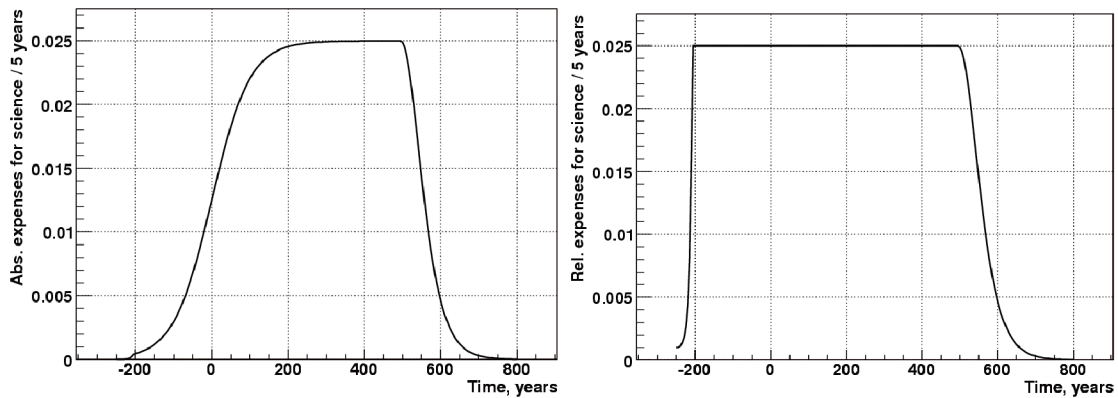


Рис. 2. Зависимость расходов на науку от времени (левый график – в абсолютном выражении, в тех же единицах, что и мировой продукт (рис. 1), правый график – в долях мирового дохода).

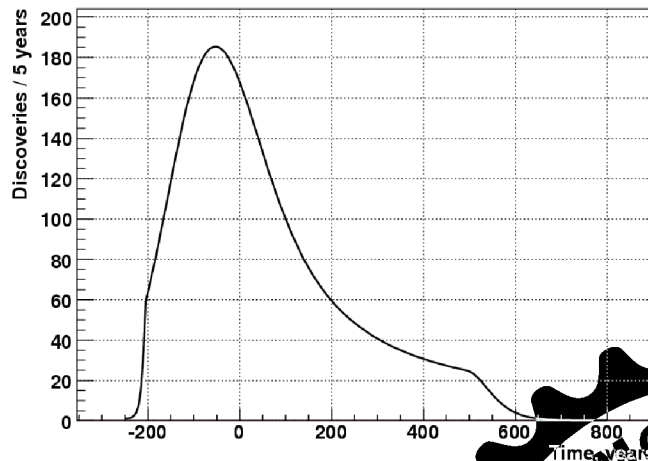


Рис. 3. Зависимость количества открытий в пятилетку от времени.



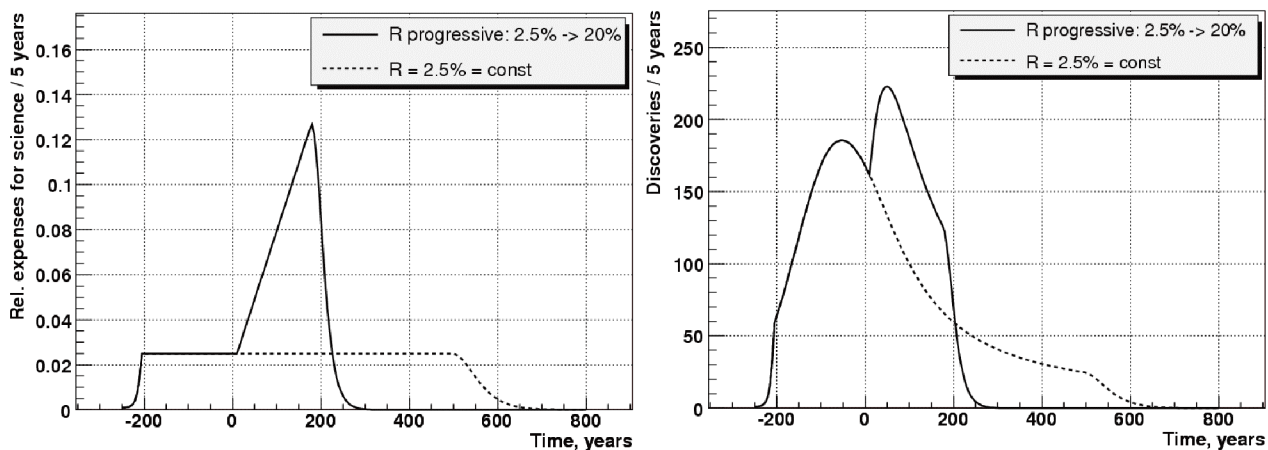


Рис. 4. Влияние увеличения расходов на динамику науки. Слева – финансирование (по отношению к мировому доходу), справа – число открытий в пятилетку. Пунктирные кривые соответствуют постоянному верхнему пределу финансирования науки на уровне 2,5% от мирового дохода, сплошные кривые соответствуют прогрессивному наращиванию финансирования. Кривые демонстрируют эффект более раннего наступления коллапса при увеличении финансирования науки.

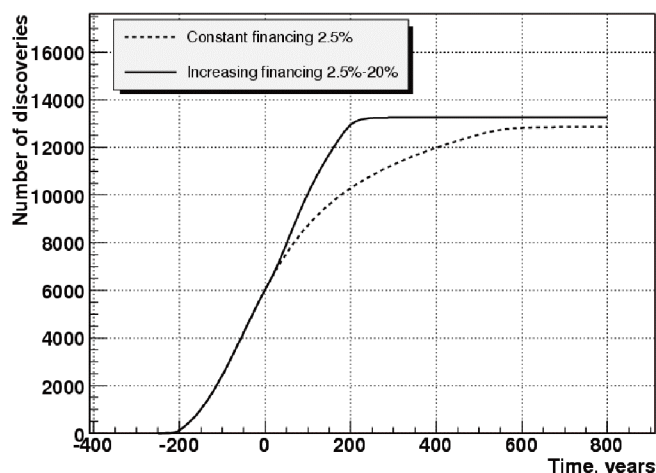


Рис. 5. Зависимость интеграла накопленных научных знаний от времен для двух сценариев финансирования науки: с постоянным верхним пределом в 2,5% от мирового дохода и с постепенным наращиванием до 20% к 2300 году.



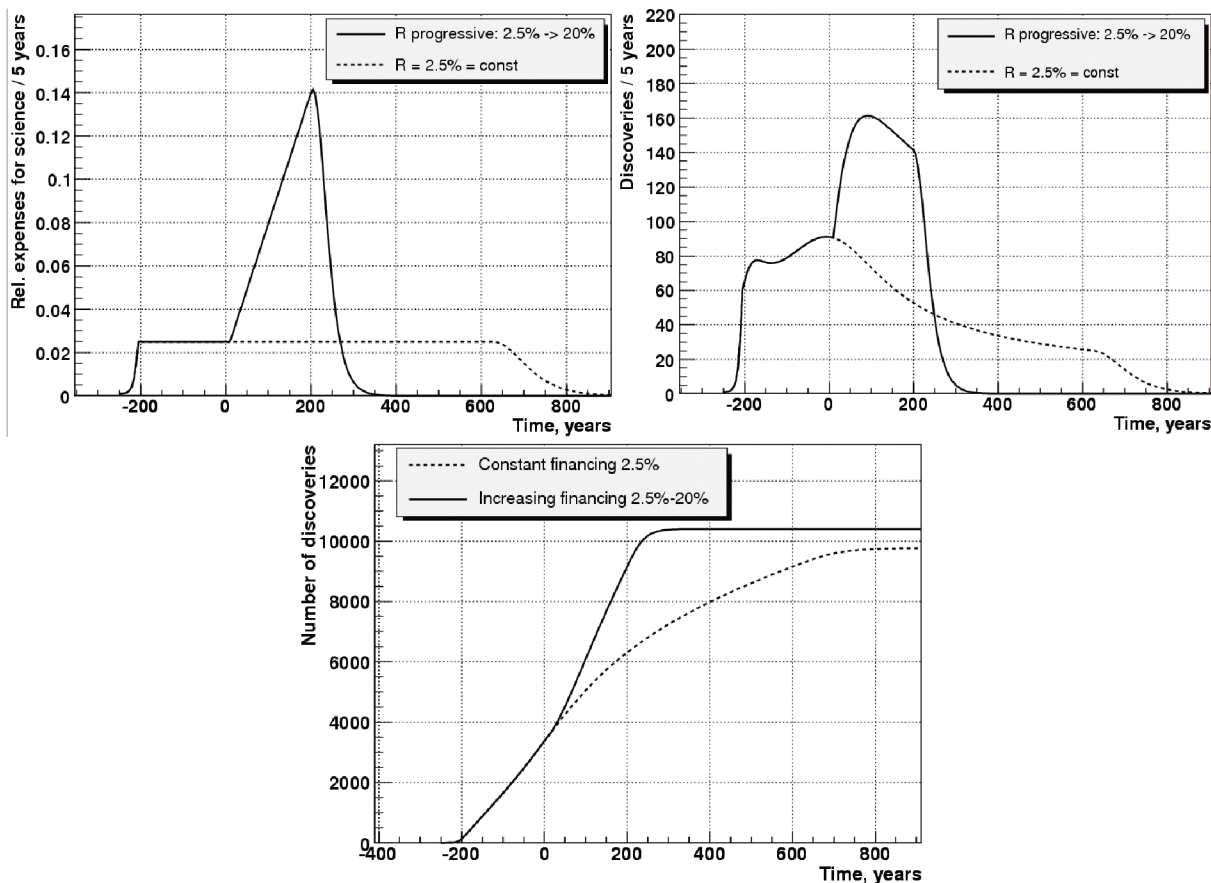


Рис. 6. Результаты расчетов для модели с квадратичным ростом стоимости науки по мере накопления суммы научных знаний. Приведенные графики аналогичны соответствующим графикам на рис. 4 и 5 для модели экспоненциального роста стоимости.



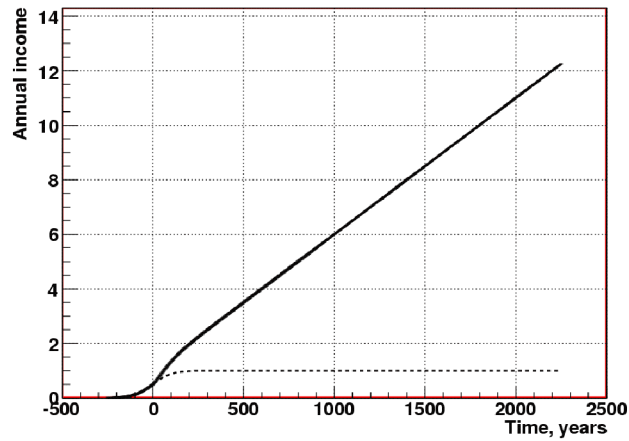


Рис. 7. Модель линейного роста мирового продукта (сплошная линия). Для сравнения приведена модель ограниченного роста мирового продукта, использованная в основном варианте расчета (пунктир).

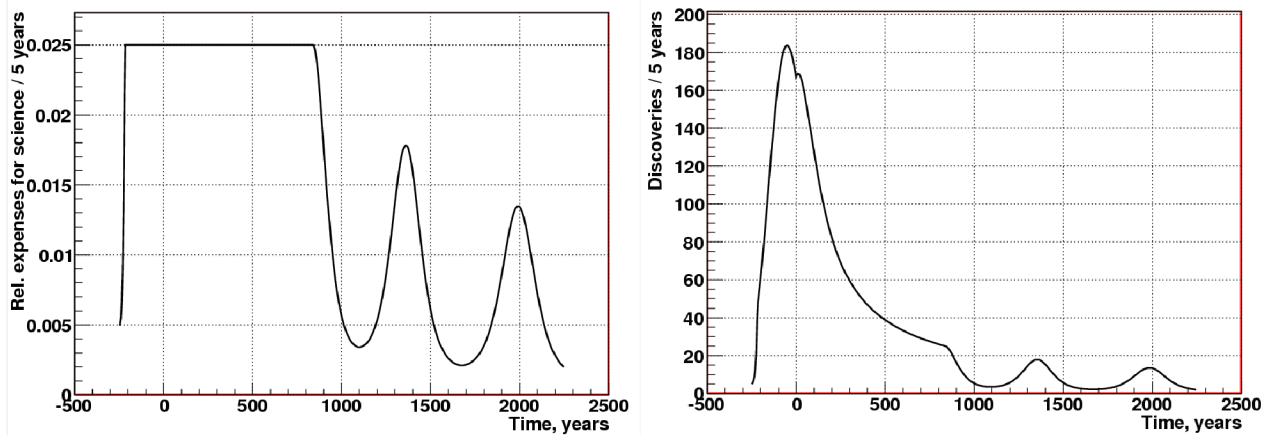


Рис. 8. Поведение относительных затрат на науку (левый график) и количества открытий в пятилетку (правый график) в зависимости от времени в модели линейного роста мирового продукта.

