

НЕФТЬ КАК СЖАТОЕ ВРЕМЯ



БОРИС КРИГЕР

БОРИС КРИГЕР

НЕФТЬ КАК СЖАТОЕ ВРЕМЯ



ALTASPERA

© 2026 Борис Кригер

Запросы на разрешение копирования любой части этой работы следует направлять по электронной почте на адрес krigerbruce@gmail.com.

Опубликовано издательством Altaspera Publishing .

Борис Кригер — междисциплинарный философ, занимающийся вопросом о том, как разрозненные области знаний могут быть объединены в целостное видение человеческого существования. В своих работах он стремится преодолеть разделение философии и науки, этики и политики, индивидуального опыта и коллективных структур. Объединяя идеи экзистенциализма, социальной теории, когнитивной науки и технологических исследований, он разрабатывает способ мышления, который не является ни редукционистским, ни утопическим, а открыт сложности современного мира.

Нефть как сжатое время

Каждая капля нефти – это древний солнечный свет.

Триста миллионов лет фотосинтеза, захоронения и геологического терпения, спрессованные в черную жидкость, которую мы извлекаем за часы и сжигаем за минуты. Соотношение терпения природы к нашей спешке составляет примерно один миллион к одному.

Это число — не метафора. Это арифметика. И она меняет всё.

«Нефть как сжатое время» предлагает радикальное переосмысление самого важного вещества на Земле. Нефть — это не просто топливо, это механизм временного смещения, инструмент, который вывел человеческую цивилизацию из синхронизации с ритмом живого мира. Отталкиваясь от этого единственного открытия, Борис Кригер прослеживает структурные последствия: почему экспоненциальный рост начался именно тогда, почему богатые нефтью страны так часто страдают от «ресурсного проклятия», почему мы с поразительной эффективностью превращаем геологическое терпение в свалку и почему переход к солнечной энергии — это не просто технологический вызов, а проблема ресинхронизации с биосферой.

Эта теплая, остроумная и невероятно любознательная книга делает науку об энергии, геологии и границах планет доступной для любого читателя. Она охватывает период от месопотамских ферм до марсианских кратеров, от одноразовых пластиковых стаканчиков до ядерных отходов, которые необходимо охранять в течение ста тысяч лет, от деда, вернувшегося с нефтяных месторождений черным от нефти, до определяющего вопроса нашего столетия: сможем ли мы научиться жить со скоростью, которую может обеспечить Земля?

Никаких уравнений. Никаких лекций. Просто новый взгляд на мир — такой, который, однажды усвоив, уже не забудешь.

Ключевые слова

Энергия, время, цивилизация, нефть, биосфера, устойчивое развитие, ресинхронизация

Содержание

Предисловие	8
Глава 1: Костер веков	14
Глава 2: Когда солнца было достаточно.....	24
Глава 3: Великое наследие	35
Глава 4: Миллион лет на галлон.....	47
Глава 5: День, когда мы покинули сад	57
Глава 6: Экспоненциальный сюрприз.....	66
Глава 7: Геометрия власти	74
Глава 8: Петрогосударства.....	83
Глава 9: Кровь и нефть	89
Глава 10: Ядерный кратчайший путь.....	97
Глава 11: Десять минут и тысяча лет.....	103
Глава 12: Археология нас.....	111
Глава 13: Быстрее, чем мир может поглотить	117
Глава 14: Иллюзия озеленения	123
Глава 15: Жизнь в рамках множества жизнеспособности	129
Глава 16: Предупреждающие сигналы	136
Глава 17: Обращение внутрь себя	142
Глава 18: Проблема контура управления	148

Глава 19: Возвращение домой к солнцу	154
Глава 20: Сможем ли мы выдержать такую сложность?.....	160
Глава 21: Углеродная фаза	167
Глава 22: Жизнь на Марсе и влияние нефти	173
Глава 23: Гонка наперегонки с границей.....	178
Глава 24: Письмо в будущее	185
Заключение	190
Глоссарий терминов.....	196
Хронология: от глубокого времени к сжатому времени	215

*В память о моем деде,
Борисе Яковлевиче Берзоне (1896–1965),*

Меня назвали в его честь...

хотя я его никогда не знал —

Он умер за пять лет до моего рождения.

*Он построил нефтяные месторождения в Плоешти ,
Румыния.*

*двадцать лет проработал главным инженером-
энергетиком.*

среди буровых вышек и трубопроводов.

Затем, в 1944 году, он помог их уничтожить.

*пролетая над полями, которые он обрабатывал на
протяжении двух десятилетий.*

*составить карту всех трубопроводов для
бомбардировщиков союзников.*

*перекрытие последних запасов топлива нацистской
военной машины.*

Моя бабушка помнила, что когда нефть текла,

Он возвращался домой чёрный с головы до ног.

Видно было лишь его белоснежные зубы, и он ухмылялся.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возможно, вы, взглянув на название этой книги, предположили, что речь идёт об очевидном: нефть экономит нам время. И это действительно так. Автомобиль быстрее лошади. Самолёт быстрее корабля. Трактор за один день делает то, на что раньше бригаде рабочих требовалась неделя. В этом простом смысле нефть сжимает время — она позволяет нам сделать больше за меньшее его время. Весь путь развития цивилизации можно рассматривать как историю возрастающей плотности времени: больше сделано за час, за день, за жизнь.

Но эта книга посвящена чему-то более глубокому, чем это.

Дело не во времени, которое спасает нас нефть. Дело во времени, которое *представляет собой нефть* — древнее, геологическое, почти непостижимое время, заключенное в каждой бочке сырой нефти, и в том, что происходит, когда цивилизация вскрывает это хранилище и расходует его содержимое в мгновение ока.

Это не очередная метафора. У нас их предостаточно — нефть как чёрное золото, нефть как кровь Земли, нефть как зависимость. Метафоры полезны, пока не превратятся в обои, а большинство метафор, связанных с нефтью, стали обоями ещё несколько десятилетий назад. Далее следует не поэтический ребрендинг. Это структурное утверждение, основанное на физике и арифметике, о взаимосвязи между геологическим и индустриальным временем — и о последствиях катастрофической ошибки в понимании этой взаимосвязи для всего, от политики до пластиковых пакетов.

Да. Это книга о времени. Речь идёт не о часах, календарях или физике относительности, а об особом виде времени — времени, заключённом в земле под вашими ногами, хранящемся в молекулярных связях вещества, которое мы называем сырой нефтью. Каждая бочка нефти содержит примерно миллион лет накопленного солнечного света: древние фотоны, захваченные микроскопическими организмами, погребённые в осадочных породах, термически

обработанные геологическим теплом и сжатые в чёрную жидкость, которую мы добываем за часы и сжигаем за минуты.

Это соотношение — миллион лет накопленного опыта, поглощенный в одно мгновение, — не метафора. Это арифметика. И как только вы это поймете, многие вещи в современном мире начнут выглядеть как следствие одного-единственного структурного факта: мы сломали часы.

На протяжении большей части истории человечества цивилизация функционировала за счет солнечного света этого года. Энергия, доступная любому обществу, ограничивалась тем, что давало солнце и что биосфера преобразовывала в реальном времени. Урожай рос со скоростью смены сезонов. Леса восстанавливались на протяжении десятилетий. Сообщения передавались со скоростью лошади. Ритм цивилизации был синхронизирован с ритмом живого мира.

Затем мы обнаружили архив. Сотни миллионов лет накопленной солнечной энергии, погребенной

под землей в удобной жидкой форме. Мы использовали ее за два столетия. Результаты были впечатляющими — восемь миллиардов человек, глобальные цепочки поставок, антибиотики, интернет, свежая клубника в январе. Результаты также, как будет показано в этой книге, привели к структурной дестабилизации .

Это не политический трактат. Я здесь не для того, чтобы говорить вам, что нефть — зло или что цивилизация обречена. Я здесь, чтобы предложить способ видения — линзу, которая, взяв её в руки, сделает видимыми определённые закономерности, которые раньше были невидимы. Почему экспоненциальный рост начался именно тогда, когда он начался? Почему в богатых нефтью странах так часто слабые институты? Почему наш поток отходов настолько абсурден с термодинамической точки зрения? Почему переход к солнечной энергии требует не только новых технологий, но и нового отношения ко времени?

Я считаю, что ответы взаимосвязаны. Все они являются следствием сжатия времени.

Идея этой книги частично зародилась в семейной истории. Мой дед, в честь которого меня назвали, Борис Берсон, всю свою карьеру проработал в нефтяной отрасли — сначала главным инженером-энергетиком на нефтяных месторождениях Плоешти в Румынии, затем на Грозном, а потом на Туапском нефтеперерабатывающем заводе на Черном море. Я никогда с ним не встречался; он умер за пять лет до моего рождения. Но образ, который сохранила моя бабушка — человек, возвращающийся с завода, с головы до ног покрытый сырой нефтью, с белой улыбкой на лице, — остался со мной. Мне кажется, это образ человеческих отношений с нефтью, который ни одна экономическая модель не может в полной мере передать. Мы не просто используем нефть. Мы покрыты ею.

Техническая аргументация, лежащая в основе этой книги, полностью изложена в исследовательской статье, включенной в приложение: «Нефть как сжатое

время: временное искажение цивилизации» (Кригер, 2026; <https://doi.org/10.5281/zenodo.18673740>). В этой статье есть уравнения, формальные определения, модель, основанная на теории жизнеспособности, и шестьдесят семь ссылок. В этой книге ничего этого нет. В ней есть истории, метафоры и — я надеюсь — та ясность, которая приходит, когда объясняешь идею тому, кого уважаешь, но у кого есть дела поважнее, чем изучать дифференциальные уравнения.

Если идея верна, метафор должно быть достаточно. Если же метафор недостаточно, никакие уравнения не помогут.

ГЛАВА 1: КОСТЕР ВЕКОВ

Зажгите спичку.

Подержите спичку между пальцами и понаблюдайте за пламенем. Маленький желтый язычок, слегка дрожащий, достаточно горячий, чтобы ужалить, если поднести его слишком близко. На первый взгляд, это кажется пустяком — несколько сантиметров горячей древесины с фосфорным наконечником. Но подумайте, что происходит на самом деле. Головка спички загорается. Тепло достигает деревянной палочки. Целлюлоза в древесине начинает разлагаться, выделяя газы, которые сгорают в присутствии кислорода. Атомы углерода в этих газах — углерод, поглощенный деревом из атмосферы, возможно, десять лет назад, используя энергию солнца, — рекомбинируют с кислородом и уносятся прочь в виде углекислого газа. Солнечная энергия, которую дерево уловило десять лет назад, на короткое время высвобождается в виде света и тепла в вашу кухню. Вы наблюдаете, как небольшой кусочек недавней истории сгорает в дыму.

Теперь увеличим масштаб. Не до спичек, а до барреля сырой нефти.

Когда вы сжигаете бочку нефти, вы высвобождаете энергию, полученную от солнечного света не десять лет назад, а примерно триста миллионов лет назад — плюс-минус геологическая эпоха. Организмы, которые её получили, были не деревьями, а крошечными морскими существами: водорослями, планктоном, бактериальными матами, плававшими в тёплых мелководных морях в каменноугольном и мезозойском периодах. Они фотосинтезировали, как и современные растения, преобразуя солнечный свет в химические связи. Затем они умерли. Их тела дрейфовали на морское дно, были погребены под осадочными породами, сжимались, нагревались и подвергались химической трансформации в течение невообразимых промежутков времени. Они стали тем веществом, которое мы добываем из земли и называем сырой нефтью.

Каждая капля нефти — это физическое свидетельство древнего солнечного света, сохранившееся в молекулярной форме. Когда вы заправляете свой автомобиль бензином, вы наполняете бак концентрированным юрским солнечным светом. Когда вы его сжигаете, вы высвобождаете этот солнечный свет, и древний углерод возвращается в атмосферу впервые за сто миллионов лет.

Это не поэзия. Это химия. И у этой химии есть последствия, которые и являются темой всей этой книги.

Результатом являются цифры. Солнечный свет, затраченный на производство барреля нефти, накапливался в течение примерно одного-двух миллионов лет. Сам баррель сгорает за считанные дни. Соотношение времени накопления к времени потребления — времени, которое Земля потратила на сохранение энергии, и времени, которое мы тратим на ее расходование, — составляет приблизительно один миллион к одному.

У этого числа есть название, которое мы будем использовать на протяжении всей книги: *коэффициент временного сжатия*. Для нефти он составляет около миллиона. Для угля — несколько меньше, возможно, сто тысяч. Для дров в вашем камине он, по сути, равен единице: дерево выросло за то же десятилетие, что и вы его сжигаете. Для ядерного топлива, как мы увидим в последующей главе, этот коэффициент ошеломляет — около десяти миллиардов, потому что уран образовался в результате взрывов сверхновых еще до существования нашей Солнечной системы.

Но больше всего нас интересует нефть, потому что именно из нефти был построен современный мир. А современный мир, если смотреть на него сквозь призму временного сжатия, выглядит совсем иначе, чем его обычно описывают.

Экономисты описывают современный мир с точки зрения рынков, стимулов и инноваций. Политологи описывают его с точки зрения институтов и власти. Историки описывают его с

точки зрения войн, идей и великих людей. Экологи описывают его с точки зрения выбросов и критических точек. Все эти описания отражают нечто реальное. Но ни одно из них не передает того, о чем эта книга: *темпа* .

Примерно в 1800 году темпы развития человеческой цивилизации резко изменились. До этой даты мир менялся медленно. Население росло, но постепенно. Технологии совершенствовались, но не сразу. Средний человек в 1750 году жил жизнью, которую человек в целом мог бы узнать и в 1250 году — более трудной или более легкой в зависимости от места жительства, но в целом схожей. Урожай собирали вручную или с помощью животных. Воду носили с собой. Сообщения передавались со скоростью лошади. Зима была темной и холодной. Большинство людей никогда не отъезжали дальше чем на тридцать миль от места своего рождения.

Затем, за два столетия, всё пошло в гору. Население выросло с одного миллиарда до восьми миллиардов. Города разрослись с сотен тысяч до

десятков миллионов. Атмосфера изменила свой химический состав. Океаны потеплели и закислились. Темпы изобретений стали настолько быстрыми, что человек, родившийся в 1900 году, мог дожить до появления конных экипажей и высадки на Луну. Человек, родившийся в 1950 году, мог стать свидетелем рождения интернета и держать в кармане устройство с вычислительной мощностью, превышающей всю программу «Аполлон» .

Обычно это объясняется тем, что мы стали умнее. Научная революция, Просвещение, накопление человеческого капитала и институциональных знаний. И мы действительно стали умнее — или, скорее, мы стали лучше организовывать ум. Печатный станок ускорил распространение идей. Университеты сконцентрировали экспертные знания. Патентное право стимулировало изобретения. Всё это правда.

Но сообразительность — это необходимое условие, а не достаточное. Умные люди существовали за тысячи лет до 1800 года. Древние греки обладали

геометрией, философией и примитивным паровым двигателем. Китайцы династии Сун имели книгопечатание, порох и доменные печи. Исламский золотой век породил алгебру, оптику и передовую медицину. И всё же ни одна из этих цивилизаций не достигла того, что произошло в Англии, а затем и во всём мире после 1800 года. Интеллект был. Институты, в некоторых случаях, тоже были. Чего же не хватало?

Энергия. Не просто какая-либо энергия, а *энергия с такой скоростью и плотностью, которую один лишь солнечный поток не может обеспечить* .

Мы нашли архив. Мы нашли накопленный за сотни миллионов лет солнечный свет, погребенный под землей в удобной жидкой форме, и начали расходовать его со скоростью, которую ни один естественный процесс не смог бы восполнить. Мы пробили дыру в дне времени, и древняя энергия хлынула наружу, и мы использовали ее для создания всего, что вы видите вокруг себя: дорог, городов, цепочек поставок, серверных ферм, авианосцев,

пластиковых пакетов, служб доставки на следующий день, свежей клубники в январе.

Эта книга о том, что значит жить на этом источнике энергии. Это не книга об экологии в обычном смысле — я не буду читать вам лекции о переработке отходов или углеродном следе. Это не политическая книга, хотя политика в ней будет присутствовать в значительной степени. Это книга о структурной взаимосвязи между цивилизацией и временем, и о том, что происходит, когда эта взаимосвязь насильственно искажается.

Как я уже упоминала в предисловии, моя бабушка помнила это масло как нечто, нанесённое на кожу моего деда. Я хочу, чтобы вы помнили об этом как о чём-то ещё более сокровенном. Оно не просто на нас. Оно *внутри* нас — в темпе нашей жизни, в структуре наших ожиданий, в бессознательном предположении, что в следующем году будет больше, чем в этом, что рост — это нормально, что свет всегда загорится, когда вы щёлкнете выключателем.

Эти предположения — артефакты сжатия времени. Это психологический остаток двух столетий, в течение которых сжигался миллион лет в год. И выживут ли эти предположения в XXI веке, зависит от вопросов, которые эта книга попытается четко задать, даже если не сможет на них ответить.

Техническая основа этой книги изложена в исследовательской работе, включенной в приложение: «Нефть как сжатое время: временное искажение цивилизации». В этой работе есть уравнения, формальные модели и шестьдесят семь ссылок. В этой книге ничего этого нет. В ней есть истории, метафоры и — я надеюсь — та ясность, которая приходит, когда объясняешь идею человеку, которого уважаешь, но у которого есть дела поважнее, чем изучать дифференциальные уравнения.

Итак, начнём с самого начала — не с начала нефти, а с начала *нас самих* . Начнём с мира, в котором солнце было единственными часами, и все жили по его часам.

ГЛАВА 2: КОГДА СОЛНЦА БЫЛО ДОСТАТОЧНО

Представьте, что вы — фермер в Месопотамии шесть тысяч лет назад.

Ваша жизнь управляется одним-единственным фактом, о котором вы никогда не задумываетесь, потому что он так же очевиден, как дыхание: всё работает на солнечном свете этого года. Пшеница на вашем поле растёт, потому что на неё прямо сейчас светит солнце. Вол, тянущий ваш плуг, питается зерном, выросшим в прошлом сезоне — тоже благодаря солнечному свету. Навоз, который вы сжигаете для приготовления пищи, получен от животных, питавшихся растениями, которые осуществляли фотосинтез. Древесина в вашем доме росла десятилетиями, питаясь энергией солнца. Ветер, наполняющий паруса торговых судов на Евфрате, движим солнечным нагревом атмосферы. Даже вода, текущая по вашим ирригационным каналам, существует потому, что солнце испарило морскую воду, а облака перенесли её вглубь суши в виде дождя.

Вы, говоря языком этой книги, живёте в *солнечно-синхронном режиме*. Энергетический бюджет вашей цивилизации сбалансирован: в любой данный год вы можете потратить приблизительно то, что Солнце пожертвовало за этот год, преобразовав это через различные посредники — растения, животных, ветер, воду — в пригодную для использования форму. Вы не можете потратить больше. Нет возможности вернуться к солнечному свету прошлого столетия или занять у следующего тысячелетия. Вы живёте на доход, а не на капитал.

Вы не осознаёте этого ограничения. Таковы уж законы мира. Концепция энергетического потолка вам не приходит в голову, потому что вы никогда с ним не сталкивались. Ваш мир развивается медленно — новый канал здесь, улучшенный плуг там, более вместительное зернохранилище после хорошего урожая. Но он развивается в определённых пределах.

Население Земли в 4000 году до нашей эры составляло, возможно, пять миллионов человек. Ко времени Христа оно достигло примерно двухсот

миллионов. Это существенный рост — в сорок раз за четыре тысячелетия. Но в среднем это составляет менее одного процента в столетие. При таких темпах ваши правнуки будут жить в мире, который по своей сути очень похож на ваш. Дома строятся из тех же материалов. Еда поступает с тех же полей. Путешествие из одного города в другой занимает то же количество дней. Изменения происходят, но происходят с такой скоростью, которую может выдержать человеческая жизнь.

Теперь перенесёмся в будущее. Представьте, что вы купец в Китае эпохи династии Сун, примерно в 1100 году нашей эры. Ваша цивилизация, пожалуй, самая развитая на Земле. У вас есть подвижный шрифт, порох, магнитные компасы, сложные финансовые инструменты, мощный флот и население более ста миллионов человек. У вас есть системы каналов, которым завидует весь мир, производство железа, которому Европа не сможет соответствовать ещё столетия, и кухня поразительного разнообразия.

И все же ваши источники энергии принципиально те же, что и у месопотамских земледельцев. Биомасса. Мышечная сила. Ветер. Вода. Вы начали использовать уголь в некоторых областях — китайцы эпохи Сун, по сути, были одними из первых, кто начал использовать уголь, — но в количествах, которые не меняют основное уравнение. Фундаментальное ограничение не изменилось: ваша цивилизация работает на солнечном свете этого года, преобразованном биосферой этого года.

Вот что примечательно: при всей своей сложности Китай эпохи Сун не достиг устойчивого экспоненциального роста. Как и Рим. Как и Золотой век ислама. Как и майя, инки, империя Великих Моголов, или любая из десятков блестящих цивилизаций, процветавших между изобретением земледелия и промышленной революцией. Они росли. Иногда росли впечатляюще. Они строили памятники, которые до сих пор поражают нас. Они создавали искусство, философию и математику непреходящей красоты. Но они не *ускоряли рост* .

Они не переживали тот тип сложного роста — удвоение населения и производства каждые несколько десятилетий — который мы сегодня считаем нормой.

Почему бы и нет? У них был интеллект, амбиции и зачастую исключительные организаторские способности. Ответ, я считаю, кроется в структуре. Они работали в условиях ограниченного пространства, а этим пространством был солнечный поток.

Рассмотрим, что на практике означает «солнечный потолок». Солнце излучает около 1400 ватт энергии на квадратный метр на верхних слоях атмосферы. После поглощения атмосферой, с учетом смены дня и ночи, а также облачности, среднее количество энергии, достигающей поверхности земли, значительно меньше — возможно, около 200 ватт на квадратный метр в среднем за определенный период времени и в определенном пространстве. Растения улавливают примерно один процент падающего на них солнечного света и преобразуют

его в биомассу посредством фотосинтеза. Животные, питающиеся этими растениями, сохраняют, возможно, десять процентов энергии растения. Человек, съевший животное, получает, возможно, еще десять процентов. К тому времени, когда солнечная энергия преобразуется через пищевую цепь в мышечную силу человека, общая эффективность составляет ничтожно малую долю процента.

Это означает, что доиндустриальной цивилизации требовались огромные площади земли для поддержания скромного населения. Римская империя на пике своего развития насчитывала около шестидесяти миллионов жителей, проживавших на территории в пять миллионов квадратных километров — примерно двенадцать человек на квадратный километр, обеспечиваемых сельским хозяйством, пастбищами и лесами. Каждая потребленная калория, каждая поднятая деревянная балка, каждый выкованный бронзовый меч представляли собой

часть годового запаса солнечной энергии, поглощенной биосферой этого года.

В этом контексте война в значительной степени представляла собой конкуренцию за плодородные земли — за доступ к солнечному свету этого года. Великие империи, по сути, были механизмами контроля солнечного потока над обширными территориями. Когда они чрезмерно расширялись — когда административные издержки на удержание территории превышали производимую ею энергию — они сокращались или рушились. Историк Джозеф Тейнтер утверждал, что этот процесс был обусловлен снижением предельной отдачи от инвестиций в усложнение. Наша концепция добавляет дополнительное наблюдение: сложность была ограничена энергетическим потоком, доступным в рамках солнечного потолка, а этот потолок был низким.

Существовали изобретательные обходные пути. Водяные мельницы концентрировали кинетическую энергию рек во вращательном движении. Ко времени

составления «Книги Страшного суда» в 1086 году только в Англии насчитывалось почти шесть тысяч водяных мельниц — по одной на каждые пятьдесят домохозяйств. Ветряные мельницы использовали движение атмосферы для помола зерна и перекачивания воды. Парусные корабли использовали ветровые потоки для торговли на огромные расстояния. Это были блестящие нововведения, и они действительно повысили производительность и благосостояние. Но они не изменили фундаментальную формулу. Это были повышения эффективности в рамках существующих ограничений, а не способы их преодоления. С помощью водяной мельницы можно было перемолоть больше муки в час, чем с помощью ручного жернова, но при этом требовалось то же количество пшеницы, а пшенице — то же количество солнечного света.

Самое глубокое последствие ограничения солнечной активности было не материальным, а временным. Поскольку энергетический поток был ограничен, цивилизация менялась медленно. Не

потому, что люди были глупы — учёные Александрии, Багдада и Ханчжоу были столь же гениальны, как и все ныне живущие, — а потому, что энергии, необходимой для более быстрого развития, не хватало. Строительство собора занимало столетие. Вырубка леса — поколения. Информация распространялась со скоростью лошади, то есть примерно сорок миль в день при благоприятных условиях. Ритм цивилизации был синхронизирован с ритмом биосферы — с медленным, терпеливым годовым циклом фотосинтеза, роста, урожая и разложения.

В этом синхронизированном режиме биосфера могла без труда поглощать отходы цивилизации. Углерод, выделяемый при сжигании дров, в течение десятилетий поглощался растущими лесами. Органические отходы разлагались и возвращались в почву. Человеческие поселения, в химическом смысле, находились приблизительно в равновесии со своей окружающей средой. Не идеально — вырубка лесов, истощение почвы и локальное загрязнение

были реальными проблемами, от которых страдали реальные цивилизации и от которых иногда погибали. Но темпы антропогенного воздействия в целом были совместимы с темпами естественного восстановления. Оба механизма тикали примерно с одинаковой скоростью.

Важно не идеализировать этот мир. Солнечно-синхронный режим не был золотым веком. Это был мир изнурительного труда, высокой младенческой смертности, периодического голода, эндемических заболеваний и повсеместной несвободы. Средняя продолжительность жизни при рождении составляла около тридцати лет. Большинство людей были неграмотны. Большинство женщин не имели юридической автономии. Рабство было повсеместным. Если бы средневековому крестьянину предложили возможность жить в современном мире, с его антибиотиками, анестезией и водопроводом в домах, он бы не колебался.

Но современный мир был им недоступен, и причина этого — тема следующей главы.

Современному миру требовался источник энергии, который не мог обеспечить солнечный потолок — источник настолько концентрированный, настолько портативный, настолько энергоемкий, что он разрушил бы все ограничения, в рамках которых существовала десяти тысячелетняя сельскохозяйственная цивилизация.

Этот источник был погребен под их ногами и формировался терпеливо на протяжении трехсот миллионов лет.

ГЛАВА 3: ВЕЛИКОЕ НАСЛЕДИЕ

Чтобы понять, что такое нефть, нужно понять, что происходило на нашей планете примерно от 350 до 65 миллионов лет назад. Это период почти в 300 миллионов лет — настолько огромный, что человеческий разум не может его по-настоящему постичь. Но позвольте мне попытаться, потому что эта история необыкновенна, и без неё остальная часть этой книги теряет смысл.

Триста пятьдесят миллионов лет назад Земля выглядела совсем не так, как сегодня. Континенты находились в другом положении — либо собирались в суперконтинент Пангея, либо собирались в него. Климат был теплым, атмосфера содержала больше углекислого газа, чем наша, а океаны кишели жизнью. Но не той жизнью, которую показывают в документальных фильмах о природе. В океанах преобладали микроскопические организмы: цианобактерии, водоросли, фитопланктон. Крошечные существа, невидимые поодиночке,

плавали в невообразимом количестве в залитых солнцем верхних слоях моря.

Они делали то, что их потомки делают и сегодня: они занимались фотосинтезом. Они улавливали фотоны солнца, использовали энергию для расщепления молекул воды и собирали полученные атомы в органические соединения — сахара, липиды, белки. Каждое из них было микроскопической солнечной панелью, преобразующей свет в химические вещества. В совокупности, за сотни миллионов лет, они уловили больше солнечной энергии, чем может себе представить любой человеческий разум.

Когда эти организмы умирали — а умирали они триллионами каждый день — большинство из них съедалось другими организмами или разлагалось бактериями. Углерод, который они содержали, возвращался в воду, а затем и в атмосферу. Это нормальный цикл: углерод поглощается, углерод высвобождается, и так далее, — это великое

планетарное дыхание, которое продолжается непрерывно миллиарды лет.

Но крошечная часть — возможно, один или два процента всего произведенного органического вещества — избежала круговорота. Их тела опустились на дно моря и осели в местах с недостатком кислорода: в застойных бассейнах, глубоких океанических впадинах, защищенных лагунах за рифами. Без кислорода бактерии, которые обычно их разлагают, не могли выполнять свою работу. Органическое вещество накапливалось. Оно было погребено под осадочными породами — песком, илом, глиной, медленным дождем частиц, который непрерывно выпадает на дно каждого океана.

Слой за слоем, год за годом, век за веком, тысячелетие за тысячелетием, мертвый планктон накапливался и сжимался под растущим весом осадочных пород над ним. Слои утолщались. Давление увеличивалось. Температура повышалась — примерно на два-три градуса Цельсия на каждые

сто метров дополнительной глубины. И органическое вещество начало меняться.

Именно здесь время начинает свою необыкновенную работу.

На протяжении миллионов лет погребенный органический материал подвергался все возрастающему нагреву и давлению. Сложные биологические молекулы — липиды, белки и углеводы, которые когда-то составляли рабочий механизм живых клеток, — начали разрушаться. Химические связи перестраивались. Длинные молекулярные цепи расщеплялись на более короткие. Атомы кислорода, азота и серы удалялись, оставляя после себя все более чистые углеводороды: цепи и кольца из атомов углерода и водорода — простейшую и наиболее энергоемкую архитектуру в органической химии.

Геохимики детально изучили этот процесс. Сначала происходит *диагенез* : низкотемпературное разложение органического вещества на кероген, воскообразное, нерастворимое промежуточное

вещество. Затем происходит *катагенез* : термический крекинг керогена с образованием жидкой нефти и природного газа. Катагенез происходит в определенном температурном диапазоне — примерно от 60 до 160 градусов Цельсия — что соответствует глубине залегания от двух до шести километров . Ниже этого диапазона температура слишком низкая, и кероген находится в инертном состоянии, ожидая. Выше него углеводороды расщепляются дальше на метан и, в конечном итоге, на графит. Существует «зона Златовласки» для нефти, и для прохождения через нее требуются миллионы лет медленного «варения».

Представьте себе печь, которая настроена на идеально правильную температуру — не слишком горячую, не слишком холодную — и работает пятьдесят миллионов лет. Её нельзя торопить. Нельзя резко увеличить нагрев; это даст вам газ, а не масло. Нельзя добавить катализатор; природа уже использует самый эффективный из доступных — терпение.

В результате получается сырая нефть: сложная смесь углеводородов, от легких, летучих молекул с пятью или шестью атомами углерода до тяжелых, смолоподобных молекул с сорока и более атомами. Конкретный состав варьируется от месторождения к месторождению, поэтому саудовская нефть отличается от венесуэльской, и поэтому нефтеперерабатывающие заводы должны адаптировать свои процессы для каждого из них. Но основная характеристика универсальна: каждая молекула — это крошечный пакет древней солнечной энергии, хранящийся в углеродно-водородных связях, ожидающий разрыва.

Однако сырая нефть в материнской породе бесполезна. Она рассеяна в мелких порах сланца или аргиллита, подобно воде, запертой в плотной губке. Чтобы нефть стала извлекаемой, она должна мигрировать. Под давлением вышележащих отложений она выталкивается из материнской породы вверх через проницаемые слои — трещины, разломы, пористые песчаники — пока не столкнется

с непроницаемой покрывающей породой, которая останавливает ее подъем. Нефть скапливается под этой покрывающей породой, накапливаясь в коллекторских породах — обычно песчаниках или пористых известняках — образуя подземные месторождения, которые ищут бурильщики.

Сам процесс миграции и захвата нефти представляет собой событие необычайной специфичности. Необходима материнская порода с достаточным содержанием органических веществ, отложившаяся в подходящей среде. Необходима правильная история захоронения — достаточно глубокая и горячая для катагенеза, но не настолько глубокая, чтобы нефть растрескивалась до газа. Необходимы проницаемые пути для миграции. Необходима структурная или стратиграфическая ловушка с непроницаемым уплотнением. Все эти условия должны были быть соблюдены в правильной последовательности, в правильное время, в правильном месте, на протяжении миллионов лет. Большинство богатых органическими веществами

материнских пород никогда не образуют коммерчески значимых месторождений нефти. Сам факт существования огромных, экономически выгодных нефтяных месторождений с геологической точки зрения является небольшим чудом — или, по крайней мере, впечатляющим совпадением.

И вот тот факт, который наиболее важен для нашей истории: *весь процесс, от фотосинтетического захвата до образования замкнутого резервуара, занимает от ста до трехсот миллионов лет*. Коротких путей нет. Нельзя ускорить катагенез. Нельзя ускорить миграцию через твердую породу. Земля потратила сотни миллионов лет на создание нефти, с той же неторопливой терпеливостью, с какой ледник вырезает долину или река прокладывает каньон. Медленно. Непрерывно. Через накопление мельчайших эффектов на протяжении непостижимых промежутков времени.

Существующие сегодня залежи нефти представляют собой накопленные ресурсы палеозойской и мезозойской биосфер — весь

солнечный свет, который был захвачен, погребен и «поджарен» за геологический период времени, в тысячу раз превосходящий всю историю нашего вида. Человек разумный существует, возможно, триста тысяч лет. Нефть под нашими ногами накапливалась в течение периода, в тысячу раз превышающего этот.

Здесь стоит сделать паузу, потому что цифры важны, и потому что наш разум не создан для того, чтобы их ощущать. Когда я говорю «миллион лет», я не использую метафору. Я имею в виду: миллион оборотов Земли вокруг Солнца. Если бы вы считали по одной цифре в секунду, вам потребовалось бы одиннадцать с половиной дней, чтобы достичь миллиона. Чтобы достичь трехсот миллионов — приблизительного времени образования нефти — вам потребовалось бы девять с половиной лет непрерывного счета без перерыва на сон.

Когда вы выкачиваете баррель нефти из земли, вы снимаете средства со счета, на создание которого природе потребовалось приблизительно от одного до двух миллионов лет — объем древнего солнечного

света, медленно поглощенного и «приготовленного» из одного барреля. Ежегодная скорость образования новой нефти настолько низка — возможно, несколько тысяч тонн в год в глобальном масштабе — что она фактически равна нулю по любым человеческим меркам. Мы живем не на проценты. Мы тратим основной капитал. И мы тратим его примерно в миллион раз быстрее, чем он был накоплен.

Вот что означает название книги. Нефть — это сжатое время. Каждый баррель содержит временной эквивалент миллиона лет кропотливой работы солнечной энергии — фотоны, захваченные древними организмами, органические тела, погребенные в бескислородных отложениях, молекулярные связи, медленно перестраивающиеся под воздействием геологического тепла. Мы добываем её за часы. Мы сжигаем её за минуты. Соотношение терпения природы к нашей спешке — это коэффициент сжатия времени, и для нефти он составляет приблизительно один миллион к одному.

В следующей главе мы более подробно рассмотрим это соотношение и начнем проследивать цепочку вытекающих из него последствий — последствий для роста, для политики, для войн и для будущего биосферы. Но прежде чем мы оставим геологию, вот еще одно изображение.

Если бы вы могли наблюдать за образованием одной-единственной бочки нефти в замедленной съемке — сжимая триста миллионов лет в один час — вы бы увидели следующее: вспышка солнечного света на теплом древнем море, целая буря микроскопических тел, дрейфующих сквозь темную воду ко дну моря, медленное захоронение под километрами осадочных пород, долгое и терпеливое «варение» в земном жаре, миграция через трещины в камне, скопление под куполом непроницаемой глины — и затем, в последнюю долю секунды, бурение сверху, выброс черной жидкости на свет и пламя.

Эта последняя доля секунды — это мы. Это вся наша индустриальная цивилизация, от колодца полковника Дрейка в Тайтесвилле, штат

Пенсильвания, в 1859 году, до всего, что произойдет дальше. Мы — лишь мгновение в конце очень длинного фильма.

А теперь давайте поговорим о том, что происходит, когда вы пытаетесь провести миллион лет в одном году.

ГЛАВА 4: МИЛЛИОН ЛЕТ НА ГАЛЛОН

Давайте будем точны в отношении числа, лежащего в основе этой книги, потому что точность имеет значение, и потому что это число, однажды усвоенное, перестраивает всё.

В предыдущей главе мы установили, что нефть образуется в течение примерно ста-трехсот миллионов лет. Мы также знаем, что человечество добывает нефть в промышленных масштабах около ста шестидесяти лет — с тех пор, как полковник Эдвин Дрейк пробурил первую коммерческую нефтяную скважину в Тайтесвилле, штат Пенсильвания, в 1859 году. За это время, по самым точным оценкам, мы израсходовали примерно 1,4 триллиона баррелей. Оставшиеся доказанные запасы составляют около 1,7 триллиона баррелей, хотя оценки разнятся, и реальная цифра может быть больше — к этому мы еще вернемся.

Вот как это можно себе представить. Представьте себе весь период образования нефти — назовем его двумястами миллионами лет для ясности — сжатый в

один календарный год, с первого января по тридцать первое декабря. В этом масштабе каждый день представляет собой примерно 550 000 лет. Каждый час представляет собой примерно 23 000 лет. Каждая минута представляет собой примерно 380 лет.

Вся история *Homo sapiens* — триста тысяч лет — умещается примерно в тринадцать часов. Вся зафиксированная история цивилизации, от Шумера до наших дней, умещается примерно в шестнадцать минут. А вся индустриальная эпоха добычи нефти — с 1859 года по настоящее время — умещается примерно в двадцать пять секунд.

За двадцать пять секунд годичного фильма мы израсходовали примерно половину ресурса, на создание которого ушло остальные 364 дня, 23 часа, 59 минут и 35 секунд.

Это коэффициент временного сжатия, выраженный в описательной, а не арифметической форме. Формальное соотношение — которое в технической статье в Приложении определяется как тау, время накопления, деленное на время добычи, —

составляет приблизительно один миллион для нефти. Один миллион лет сбора солнечной энергии на каждый год промышленного потребления. На создание бочки, которую вы сожгли сегодня, природе потребовался миллион лет.

Разумный человек может спросить: и что? Многие вещи в природе формируются очень долго и быстро расходуются. Секвойя растёт тысячу лет, а срубить её можно за один день. Алмаз образуется миллиарды лет, а огранка в мастерской занимает неделю. Почему же коэффициент сжатия во времени для нефти должен иметь большее значение, чем коэффициент сжатия во времени для древесины или драгоценных камней?

Ответ состоит из трех частей, и они являются предметом рассмотрения в следующих нескольких главах.

Во-первых, масштаб. Мы сжигаем не несколько баррелей нефти в год. Мы сжигаем примерно сто миллионов баррелей в день — около 36 миллиардов баррелей в год. Это не просто костер; это метаболизм

цивилизации. Вся мировая экономика работает на этом ресурсе. Если умножить коэффициент сжатия времени на объем добычи, цифры становятся поистине поразительными: каждый год человечество потребляет количество энергии, эквивалентное примерно 36 триллионам лет накопленной солнечной энергии. Это примерно в 2600 раз больше нынешнего возраста Вселенной. В энергетическом смысле мы сжигаем космические объемы накопленного времени.

Во-вторых, отходы. Когда вы рубите секвойю, углерод остается в древесине (по крайней мере, до тех пор, пока древесина не сгниет или не сгорит). Когда вы ограняете алмаз, алмаз сохраняется. Но когда вы сжигаете нефть, углерод попадает в атмосферу в виде углекислого газа, где он будет оставаться от столетий до тысячелетий. Сгорание необратимо в масштабах человеческой жизни. И атмосфера, в отличие от склада, имеет ограниченную способность поглощать дополнительный углерод без изменения своего поведения. Биосфера поглощает примерно половину наших ежегодных выбросов углерода; другая

половина накапливается. Это химический признак временного несоответствия: мы выбрасываем больше углерода, чем планета может его поглотить.

В-третьих — и это самый тонкий момент — скорость *имеет* такое же значение, как и количество. Миллион лет солнечного света, высвобожденного за миллион лет, — это просто обычный солнечный свет. Та же энергия, высвобожденная за один год, — это взрыв цивилизации. Коэффициент временного сжатия описывает не просто количество, а *скорость*. А скорость имеет последствия, которых нет у одного лишь количества.

Рассмотрим аналогию. Вы унаследовали состояние от дальнего родственника — допустим, десять миллионов долларов. Если вы разумно инвестируете эти деньги и живете на полученный доход, вы сможете комфортно обеспечивать себя до конца жизни. Состояние будет сохраняться. Поток доходов будет устойчивым. Ваши внуки смогут унаследовать оставшуюся часть.

Но предположим, что вы потратили все десять миллионов за один год. В течение этого года вы жили роскошно. Вы купили особняк, автопарк, частный самолет. Вы устраивали вечеринки, о которых писали в газетах. Ваш образ жизни в течение двенадцати месяцев ничем не отличался от образа жизни миллиардера. А потом все кончено. Состояние исчезло. Особняк нуждается в ремонте, который вы не можете себе позволить. Машинам нужен бензин, который вы не можете купить. У вас остались лишь обломки образа жизни, построенного на единовременном богатстве.

Ключевым фактором был не *размер* состояния, а *скорость* его расходования. Одно и то же состояние, потребленное с разной скоростью, приводит к совершенно разным результатам — комфорту против катастрофы.

Это миниатюрная модель временного сжатия. Запасы нефти на Земле — это целое состояние, геологическое наследие необычайной ценности. То, как мы их расходует, и особенно, *как быстро* мы это

делаем, определяет, позволит ли это наследие обеспечить устойчивый переход к пост-углеродной цивилизации или же оно приведет к впечатляющему всплеску добычи, за которым последует структурный кризис.

Важно уточнить, что именно показывает и чего не показывает коэффициент временного сжатия. Во-первых, это описательная величина — измерение того, насколько наш энергетический режим отклонился от солнечной синхронности. Как описание, он показывает, с какой скоростью мы движемся. Сам по себе он не говорит о том, что произойдет.

Цивилизация с коэффициентом временного сжатия в миллион, которая добывала бы ресурсы достаточно медленно, в принципе, могла бы сжигать ископаемое топливо бесконечно, не приближаясь к какому-либо экологическому пределу. Проблема не в том, что существует временное сжатие; проблема в том, что скорость *добычи* слишком высока для биосферы, чтобы перерабатывать отходы.

Коэффициент временного сжатия — это, если хотите, спидометр. Он показывает, с какой скоростью едет машина. Он не говорит о том, попадете ли вы в аварию — это зависит от дороги, тормозов и водителя. Но если спидометр показывает миллион, вам, возможно, стоит обратить на это внимание.

Прежде чем двигаться дальше, следует сказать еще кое-что о соотношении, и оно касается будущих открытий. Постоянное возражение против любой модели, основанной на запасах ископаемого топлива, заключается в том, что эти запасы постоянно растут. Прогнозы 1970-х годов — о том, что нефть закончится к концу века — оказались совершенно неверными. Гидравлический разрыв пласта, горизонтальное бурение, добыча битуминозного песка, глубоководные технологии и разведка континентальных шельфов и арктических месторождений постоянно расширяли доступную ресурсную базу. Запасы под нашими ногами почти наверняка больше, чем предполагают нынешние оценки.

В рамках теории временного сжатия это плохая новость. Наоборот. Большие запасы означают большее общее количество накопленного углерода, доступного для сжигания. Если мы обнаружим в десять раз больше нефти, чем предполагали, и решим сжечь её всю, мы не предотвратим проблему — мы её усугубим. Проблема не в том, что нефть закончится. Проблема в том, что способность биосферы поглощать последствия её сжигания будет исчерпана в первую очередь. Большое количество топлива в баке не внушает доверия, если проблема в том, что двигатель перегревает помещение.

Более того, для добычи новых доступных запасов — битуминозных песков, сверхглубоководных месторождений в Арктике — требуется гораздо больше энергии, чем для добычи месторождений в Саудовской Аравии в середине XX века. Энергетическая отдача от инвестиций неуклонно снижается. Если в 1950-х годах для добычи и извлечения пятидесяти баррелей обычной нефти требовалось количество энергии, эквивалентное

энергии одного барреля, то для добычи пяти баррелей битуминозных песков может потребоваться один баррель. Цивилизация прилагает все больше усилий, чтобы просто поддерживать свою скорость — бежит все быстрее, чтобы остаться на месте, подобно Красной Королеве в Зазеркалье Алисы.

Установив это соотношение, мы можем задаться вопросом: что произошло, когда цивилизация впервые получила доступ к этому сжатому времени? Что она сделала с этим богатством? Ответ начинается в Англии, примерно в 1780 году, с угля, и резко ускоряется столетие спустя, с нефти.

ГЛАВА 5: ДЕНЬ, КОГДА МЫ ПОКИНУЛИ САД

Существует график, который, однажды увидев, уже невозможно забыть.

На графике показано глобальное потребление энергии на душу населения за последние десять тысяч лет. В течение первых 9800 лет линия практически плоская — плавное колебание вокруг низкой базовой линии с небольшими пиками, соответствующими взлетам и падениям империй. Затем, примерно в 1800 году, линия становится вертикальной. Не резко вверх. *Вертикальная*. За два столетия потребление энергии на душу населения увеличивается примерно в двадцать раз. Общее потребление энергии, с учетом роста населения, увеличивается, возможно, в пятьсот раз.

Это не постепенная тенденция. Это фазовый переход. Это как если бы мир тысячами медленно томился, а затем, в один эволюционный момент, закипел.

Обычно история промышленной революции начинается с изобретений: атмосферный двигатель Ньюкомена в 1712 году, усовершенствованный паровой двигатель Уатта в 1769 году, водяная прядильная машина Аркрайта и прядильная машина Кромптона — весь каскад механической изобретательности, превративший Англию из аграрного королевства в мировую мастерскую. Это хорошая история, и она правдива, насколько это возможно. Но она упускает из виду главного героя.

Главный герой — уголь.

К XVIII веку в Англии начали заканчиваться деревья. Столетия судостроения, выплавки железа и отопления бытовых нужд истощили леса. Цена на дрова росла. Это было не просто экономическое неудобство; это был энергетический кризис. Протоиндустриальная экономика Англии — её чугунолитейные заводы, пивоварни, известковые печи — уперлась в солнечный потолок. Биосфера не могла выращивать деревья достаточно быстро, чтобы удовлетворить спрос.

Но в Англии был уголь. Огромные его запасы, относительно близко к поверхности, в Мидлендсе, Южном Уэльсе и на северо-востоке. В нашей системе координат уголь — это сжатая во времени энергия — не настолько сжатая, как нефть (коэффициент сжатия во времени, возможно, составляет сто тысяч, а не миллион), но достаточно сжатая. Это древний солнечный свет, захваченный каменноугольными лесами триста миллионов лет назад, погребенный под землей и преобразованный под воздействием тепла и давления в плотное, богатое энергией твердое вещество.

Когда Англия перешла от древесины к углю, она совершила то, чего ни одна цивилизация до этого не делала в таком масштабе: она преодолела солнечный потолок. Энергия, доступная экономике, больше не ограничивалась фотосинтезом текущего года. Теперь она использовала архив — геологический сберегательный счет, который накапливался еще до динозавров. Ограничение, сковывавшее каждую предыдущую цивилизацию, было снято.

Последствия были незамедлительными и впечатляющими. Производство железа резко возросло, потому что печи теперь могли работать так жарко и так долго, как позволяли запасы угля. Текстиль можно было производить на фабриках, работающих на паровых двигателях, которые, в свою очередь, работали на угле. Железные дороги — сами по себе сделанные из железа и работающие на угле — соединяли города и рынки так, как это никогда не могло сделать конное транспортное сообщение. Экономика росла. Население росло. Города росли. И этот рост был не линейным, а кумулятивным: каждое расширение позволяло осуществить следующее, потому что каждое требовало больше энергии, а энергия была доступна.

Это положительная обратная связь, лежащая в основе промышленной революции. Больше угля означало больше железа, а больше железных дорог — больше угля. Больше энергии означало больше промышленных мощностей, а больше мощностей по

добыче — больше энергии. Это был экспоненциальный двигатель, и уголь был топливом.

Но у угля были свои ограничения. Он твердый, что делает его тяжелым и сложным в транспортировке по сравнению с его энергетической ценностью. Он загрязняет окружающую среду — угольный дым душил викторианский Лондон и чернил фасады Манчестера. Для его добычи требуется большое количество рабочих, что приводит к концентрации рабочей силы, которая, как показал историк Тимоти Митчелл, дает рабочим возможность нарушать энергоснабжение посредством забастовок. Уголь породил особый вид политики: централизованную, но оспариваемую, индустриальную, но допускающую переговоры.

Затем появилась нефть.

Нефть была полной противоположностью углю. Она была жидкой — её легко было перекачивать, транспортировать по трубопроводам и доставлять. Она обладала более высокой плотностью энергии — примерно 45 мегаджоулей на килограмм по

сравнению с 24 у угля. Она сгорала чище в месте потребления . Её можно было перерабатывать в невероятно широкий спектр продуктов: бензин для двигателей, дизельное топливо для грузовиков, керосин для ламп и самолётов, нефту для химикатов, асфальт для дорог, смазочные материалы для машин. И её можно было транспортировать по трубопроводам с минимальными трудозатратами , что означало — как утверждал Митчелл — что рабочим было гораздо сложнее нарушить работу трубопровода.

Переход от угля к нефти, ускорившийся в начале XX века и ставший доминирующим после Второй мировой войны, был не просто сменой топлива. Это была смена архитектуры цивилизации. Уголь создал железные дороги и промышленные города. Нефть создала пригороды, автомагистрали, супермаркеты, глобальные цепочки поставок, авианосцы и индустрию пластмасс. Она создала мир дешевой мобильности — личные автомобили, международные рейсы, контейнерные перевозки — который был бы

физически невозможен при любом предыдущем источнике энергии.

Мой дед работал на стыке этих двух миров. Будучи инженером-энергетиком в нефтяной компании UNIREA в Плоешти , Румыния, он курировал паровые системы, перерабатывавшие сырую нефть в нефтепродукты. Пар — технология угольной эпохи — использовался в нефтяную эпоху. Он досконально понимал обе эти энергии. И в 1944 году, когда советским военным нужно было точно знать, где проходят трубопроводы, чтобы их уничтожить, они обратились к нему — потому что трубопроводы Плоешти были , в буквальном смысле, артериями немецкой военной машины. Без румынской нефти у вермахта не было топлива для самолетов, не было дизельного топлива для танков. Уничтожение этих трубопроводов стало одним из решающих логистических событий Второй мировой войны.

Иными словами, нефть была не просто источником энергии. Это был стратегический актив

высочайшего уровня — настолько ценный, что за неё велись войны, вокруг неё строились империи, а политическая карта двадцатого века во многом определялась географией её месторождений.

Но всё это — геополитика, войны, трубопроводы, империи — является следствием чего-то более простого и фундаментального. Когда цивилизация получила доступ к нефти, она получила доступ к сжатому времени с такой плотностью и мобильностью, которые уголь не мог обеспечить. Коэффициент сжатия времени подскочил со ста тысяч (уголь) до миллиона (нефть). Солнечный потолок, уже потрескавшийся из-за угля, был полностью разрушен.

За этим последовал не просто промышленный рост. Это была самая быстрая трансформация поверхности планеты в истории Земли — быстрее любого геологического события, за исключением крупного столкновения с астероидом. В геологический миг — два столетия — один вид изменил атмосферу, океаны, поверхность суши и

состав биосферы. Агентом этой трансформации стало временное сжатие: высвобождение накопленной за сотни миллионов лет энергии за период, слишком короткий для того, чтобы планета смогла адаптироваться.

Мы покинули сад. Мы жили в солнечно-синхронном раю — не в приятном раю, не в комфортном, а в структурно устойчивом, где темпы человеческой деятельности были совместимы с темпами естественного восстановления. Мы покинули его ради стремительно развивающейся цивилизации, которая, в самом буквальном смысле этого слова, существовала лишь на заемное время.

В следующей главе задается вопрос: как выглядит цивилизация, функционирующая на заемное время? Ответ, как выясняется, таков: экспоненциальный рост.

ГЛАВА 6: ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ СЮРПРИЗ

Существует старая история, часто приписываемая древней Индии, о царе и шахматной доске.

Мудрец преподносит королю шахматную доску и просит скромного вознаграждения: одно зернышко риса на первой клетке, два на второй, четыре на третьей и так далее — удваиваясь с каждой клеткой. Король, забавляясь кажущейся скромностью просьбы, соглашается. К двадцатой клетке горка риса становится большой, но управляемой — около миллиона зерен, возможно, достаточно, чтобы заполнить ванну. К сороковой клетке — миллиард зерен, достаточно, чтобы заполнить большую комнату. К шестьдесят четвертой клетке общее количество составляет $18,4$ квинтиллиона зерен — больше риса, чем было произведено за всю историю земледелия. Король, в зависимости от того, какую версию истории вы предпочитаете, либо разоряется, либо приказывает казнить мудреца.

Мораль истории в том, что люди катастрофически плохо умеют интуитивно понимать

экспоненциальный рост. Мы мыслим линейно. Мы ожидаем, что завтра будет примерно таким же, как сегодня, плюс немного. Когда что-то удваивается, затем удвоение удваивается, а затем удвоение удваивается, наша интуиция дает сбой. Мы не можем почувствовать разницу между миллионом и квинтиллионом. Оба числа просто «огромны».

Это важно для нашей истории, потому что индустриальная эпоха — эпоха сжатия времени — это эпоха экспоненциального роста почти по всем измеримым показателям. Население мира: один миллиард в 1800 году, два миллиарда в 1927 году, четыре миллиарда в 1974 году, восемь миллиардов в 2022 году. Мировой ВВП: примерно утраивается каждые тридцать лет с 1800 года. Потребление энергии: увеличивается примерно в пятьдесят раз с начала промышленной революции. Выбросы углекислого газа: растут от незначительных до 36 миллиардов тонн в год. В каждом случае кривая не линейная, а экспоненциальная — не прямая линия, а «хоккейная клюшка».

Связь между сжатием временных параметров и экспоненциальным ростом не случайна. Она носит структурный характер.

В цивилизации, синхронной с Солнцем, рост ограничен годовым солнечным потоком. Вы можете стать более эффективными — построить лучший плуг, вывести более выносливую пшеницу, выкопать более длинный канал, — но вы не можете превзойти энергию, которую Солнце выдает в этом году и которая перерабатывается биосферой этого года. Рост ограничен. Он может быть стабильным, даже впечатляющим в течение длительных периодов, но он не может бесконечно наращиваться с высокой скоростью, потому что энергетические затраты фиксированы.

С ископаемым топливом это ограничение снимается. Доступная энергия — это уже не доход от солнечной энергии текущего года, а накопленные за геологические годы запасы времени. И этот запас, с человеческой точки зрения, огромен — его достаточно, чтобы обеспечивать экспоненциальный

рост на протяжении столетий, прежде чем истощение ресурсов станет определяющим фактором.

Точнее: сжатие времени создает положительную обратную связь. Вы добываете ископаемое топливо. Вы используете его для наращивания промышленного потенциала. Промышленный потенциал позволяет вам добывать больше ископаемого топлива быстрее. Более быстрая добыча стимулирует рост, который, в свою очередь, требует еще большей добычи. Каждый цикл усиливает следующий. Система самоподдерживающаяся — экспоненциальный двигатель, работающий на сжатом времени.

Это не единственный фактор современного роста. Институциональные инновации имеют значение — права собственности, финансовые рынки, верховенство права. Человеческий капитал имеет значение — образование, здравоохранение, накопление знаний. Технологические инновации имеют значение — печатный станок, научный метод, интернет. Это реальные и важные факторы, и книга о

сжатии времени не должна делать вид, что это не так. Интеллектуальные, хорошо организованные люди существовали тысячелетиями до промышленной революции, и их интеллект и организованность способствовали реальному, хотя и медленному, экономическому и культурному развитию.

Но вот ключевое утверждение: без временного сжатия эти другие факторы не смогли бы обеспечить экспоненциальный рост с наблюдаемой скоростью. Они необходимы, но недостаточны. Можно иметь блестящие институты, образованное население и научный метод, но если ваши энергетические ресурсы ограничены солнечным потоком этого года, то и темпы роста будут ограничены. Солнечному потолку всё равно, насколько вы умны.

Доказательства этого утверждения в значительной степени носят исторический характер. Потребление энергии на душу населения оставалось примерно на одном уровне на протяжении тысячелетий до промышленной революции. Точка перегиба — момент, когда кривая начинает расти —

почти точно совпадает с крупномасштабной эксплуатацией угля и еще больше ускоряется с переходом на нефть. Ни одна предшествующая цивилизация, какой бы гениальной она ни была, не достигла сопоставимых темпов устойчивого роста. Самое простое объяснение заключается в том, что ни одна предшествующая цивилизация не имела доступа к сопоставимым энергетическим ресурсам.

Это не означает, что нефть в простом смысле *стала причиной возникновения* современного мира. Причины многочисленны и запутанны. Концепция временного сжатия утверждает более узкий подход: ископаемое топливо устранило ограничивающее условие. Оно было необходимым условием — узким местом, устранение которого позволило всем остальным факторам проявить себя в полной мере. Уберите институты, и вы получите Советский Союз: огромный энергетический потенциал, скромные инновации. Уберите энергию, и вы получите Китай эпохи Сун: огромную изобретательность, ограниченный рост. Вам нужно и то, и другое. Но

энергия появилась первой, в логическом смысле, поскольку без неё институты не могли бы обеспечить экспоненциальный рост.

Эффект экспоненциального роста — шок от сложного процента — наблюдается повсюду в современной жизни, хотя мы настолько к нему привыкли, что больше не считаем его удивительным. Мы ожидаем, что наша экономика будет расти каждый год. Мы ожидаем, что технологии будут совершенствоваться каждый год. Мы ожидаем, что наши дети будут богаче нас. Эти ожидания исторически абсурдны. На протяжении 99,9% истории человечества они были бы нелепы. Средневековый крестьянин, ожидавший, что его внуки будут жить в мире вдвое богаче его собственного, считался бы сумасшедшим.

Мы все живем внутри экспоненциального сюрприза. Это вода, в которой мы плаваем. И в своей основе она питается сжатым временем.

Но у экспоненциального роста есть структурная проблема, и это та же самая структурная проблема,

которую в конце концов обнаруживает король на шахматной доске: он не может продолжаться вечно. Зерна риса истощаются. Или, скорее, — в случае нашей цивилизации — способность биосферы поглощать продукты сгорания иссякает раньше, чем само топливо.

Мы рассмотрим этот предел в последующих главах. Но сначала давайте обратимся к другому следствию сжатия времени — следствию, которое касается не количества, а формы. Не скорости нашего роста, а того, как мы организуемся. Следующая глава посвящена власти: кто ею обладает, кто нет, и какое отношение к этому имеет нефть.

ГЛАВА 7: ГЕОМЕТРИЯ ВЛАСТИ

Не все источники энергии одинаковы, и различия между ними имеют последствия, выходящие далеко за рамки инженерных разработок.

Рассмотрим дрова. Они громоздки, тяжелы по сравнению с их энергетической ценностью и более или менее распространены везде, где растут деревья. Чтобы обеспечить город дровами, необходимы обширные лесные массивы, большая рабочая сила лесорубов, парк повозок и сеть дорог. Энергия распределена, и, соответственно, инфраструктура, необходимая для сбора и доставки дров, также распределена. Ни один человек не может контролировать запасы дров в большом регионе, потому что древесина растет повсюду, и любой, у кого есть топор, может ее добыть.

Теперь рассмотрим нефть. Одна скважина в Саудовской Аравии может добывать десятки тысяч баррелей в день — это энергетический эквивалент леса размером с небольшую страну. Нефть течет по трубопроводу на нефтеперерабатывающий завод,

затем в порт, затем в танкер, а оттуда на другой конец света. Вся цепочка, от скважины до потребителя, проходит через небольшое количество узких мест: скважина, трубопровод, нефтеперерабатывающий завод, порт, судоходный маршрут. Тот, кто контролирует эти узкие места, контролирует огромную концентрацию энергии — а значит, и огромную концентрацию власти.

По сути, это и есть гипотеза управления в рамках теории временного сжатия. Степень централизации в структурах управления, как правило, коррелирует с плотностью энергии доминирующего источника энергии. Это не детерминированный закон — это тенденция, структурное давление, которое может быть преодолено сильными институтами, географическими случайностями или историческими обстоятельствами. Но эта тенденция реальна, и она сформировала политическую архитектуру современного мира.

Историк Тимоти Митчелл выдвинул аналогичный аргумент относительно перехода от

угля к нефти. Он отметил, что для добычи угля требовалось большое количество шахтеров, работающих в концентрированных местах. Шахтеры могли бастовать, и когда это происходило, они могли парализовать всю энергоснабжение страны. Это привело к организованным протестам. Реальная структурная власть рабочего движения — не потому, что рабочие были по своей природе добродетельны или потому, что их дело было праведным, а потому, что физическая природа добычи угля давала им рычаги влияния. Уголь породил политику противостояния: централизованное производство, но со встроенными точками сопротивления.

Нефть изменила ситуацию. Нефть можно добывать из земли с помощью относительно небольшого количества рабочих. Она течет по трубопроводам, требующим минимального вмешательства человека. Ее можно перевозить танкерами через океаны. Точки сопротивления, создававшиеся углем, были устранены. Нефть создала политику непрозрачности: централизованный

контроль с гораздо меньшими возможностями для вмешательства снизу.

Эта закономерность прослеживается на протяжении всей истории. Общества, работавшие на биомассе — дровах, животной силе, человеческой мускульной силе — как правило, были децентрализованы или, по крайней мере, организованы на региональном уровне. Источник энергии был повсюду, поэтому власть распределялась. Империи, конечно, существовали, но они держались вместе благодаря военной силе и административному мастерству, а не контролю над энергетическими узлами.

В обществах, функционировавших за счет угля, развился особый вид централизации: промышленная, городская, конкурентная. Фабричные города викторианской Англии, шахтерские города долины Рура, сталелитейные города Пенсильвании — это были центры концентрации власти, но также и центры концентрации труда. Организация. Энергетическая и политическая системы были тесно

взаимосвязаны определенными, легко узнаваемыми способами.

В обществах, функционирующих на основе нефти, сформировалась еще одна архитектура: высокоцентрализованная, зачастую непрозрачная и часто устойчивая к демократической подотчетности. Это не совпадение. Это структурное следствие того, чем является нефть: веществом с чрезвычайно высокой плотностью энергии, находящимся в географически сконцентрированных месторождениях, добываемым с минимальными трудозатратами и транспортируемым по инфраструктуре, контролируемой небольшой элитой.

Примеры, противоречащие этому, поучительны именно потому, что они раскрывают роль институтов. Норвегия — богатая нефтью демократическая страна с низким уровнем централизации и суверенным фондом благосостояния, которому завидует весь мир. Канада добывает битуминозные пески, сохраняя при этом демократическое управление и свободу прессы. Эти страны демонстрируют, что давление,

направленное на централизацию из-за высокой энергетической плотности, можно преодолеть — но только благодаря сильным существующим институтам, прозрачным правовым системам и обдуманным политическим решениям. Давление реально; результат не предопределен.

На другом полюсе находятся нефтедобывающие государства Персидского залива. Это одни из самых централизованных политических образований на Земле. Их правительства во многих случаях представляют собой семейные предприятия, которые рассматривают национальные доходы от нефти как личный доход. Демократические институты минимальны или отсутствуют вовсе. Население часто разделено на небольшой класс граждан, получающих льготы, финансируемые за счет нефти, и большой класс иностранных рабочих с ограниченными правами. Эта политическая структура возникла не только из древних традиций — хотя существовавшие ранее племенные и монархические структуры сыграли свою роль. Она была укреплена, закрепились

и стала экономически жизнеспособной благодаря природе источника энергии: концентрированная, высокоплотная, требующая минимального количества рабочей силы внутри страны для добычи.

Северная Корея, напротив, является сильно централизованной страной, не обладающей значительными нефтяными богатствами, что демонстрирует, что централизация имеет иные причины, помимо плотности энергии. Сингапур — это централизованный город-государство, не имеющий собственных энергетических ресурсов вообще. Связь между плотностью энергии и управлением реальна, но опосредована институтами, географией и историей. Это структурная тенденция, а не детерминированный закон.

Гипотеза о государственном управлении поддается проверке, по крайней мере, в принципе. Можно измерить централизацию в разных странах, используя общепринятые индексы — показатели Polity, используемые политологами, или данные Varieties of Democracy — и соотнести их с

энергетической плотностью первичного энергетического баланса каждой страны. Предсказание будет положительным, но умеренным: страны, зависящие от источников энергии высокой плотности (нефть, газ, атомная энергия), должны быть несколько более централизованными, чем страны, зависящие от источников низкой плотности (солнечная, ветровая энергия, биомасса), после учета уровня дохода, институционального наследия и региональных факторов. Эта проверка еще не проводилась строго, но данные для ее проведения существуют.

Что это будет означать для будущего? Если гипотеза управления подтвердится хотя бы приблизительно, то переход от ископаемого топлива к солнечной энергии должен оказать структурное давление в сторону децентрализации. Солнечная энергия распределена: никто не контролирует солнце. Нет солнечных узких мест, нет солнечных трубопроводов, нет маршрутов для солнечных танкеров. Если плотность энергии определяет

управление, то мир, питаемый солнечным светом, должен быть миром с более распределенной властью.

Точность этого прогноза зависит от факторов, которые данная модель не может предвидеть, — включая возможность того, что новые узкие места (цепочки поставок батарей, добыча редкоземельных элементов, управление энергосетями) заменят старые. Но структурная логика ясна: если изменить структуру энергетической системы, изменится и структура энергоснабжения.

ГЛАВА 8: ПЕТРОГОСУДАРСТВА

В экономике есть выражение, которое звучит так, будто это хорошая новость, но на самом деле таковой не является: ресурсное проклятие.

«Ресурсное проклятие» — это хорошо задокументированный парадокс: страны с обильными природными ресурсами, особенно нефтью, как правило, развиваются медленнее, имеют более слабые институты и чаще сталкиваются с конфликтами, чем страны, не обладающие такими ресурсами. У Нигерии больше нефти, чем у Норвегии, но при этом она значительно менее процветает. Венесуэла обладает крупнейшими в мире доказанными запасами нефти и пережила экономический коллапс. Ирак, Ливия, Ангола, Экваториальная Гвинея — список богатых ресурсами, но институционально слабых стран длинный и удручающий.

Стандартные объяснения «ресурсного проклятия» включают в себя «голландскую болезнь» — то, как доходы от ресурсов укрепляют валюту

страны, делая ее несырьевой экспорт неконкурентоспособным, — и стремление к ренте, то есть тенденцию элит конкурировать за контроль над доходами от ресурсов, а не инвестировать в производительную деятельность. Эти объяснения хорошо обоснованы и верны в той мере, в какой они применимы.

Концепция временного сжатия добавляет структурный слой. Когда богатство можно извлекать непосредственно из земли — когда оно поступает в виде геологического наследия, а не как продукт человеческого труда, образования и институционального развития, — стимул к строительству медленной и сложной инфраструктуры диверсифицированной экономики подрывается. Зачем инвестировать в школы, больницы, заводы и суды, если можно просто выкачать деньги из ямы?

Это временная патология. Общества, развивающиеся благодаря сельскому хозяйству, торговле и производству, должны синхронизироваться с медленными ритмами

формирования человеческого капитала. Для создания функционирующей системы образования требуются десятилетия. Для формирования культуры институционального доверия — поколения. Для развития правовой и финансовой инфраструктуры, поддерживающей сложную торговлю, требуются столетия. Эти процессы нельзя ускорить; они протекают в своих собственных временных рамках, и эти временные рамки длительны.

Нефтегазовое государство может обойти все это. Оно может монетизировать геологическое наследие — напрямую конвертировать сжатое время в деньги — минуя медленные этапы развития, которые вынуждены проходить страны с ограниченными ресурсами. В результате получается общество, чье богатство не синхронизировано с уровнем зрелости его институтов. Оно обладает доходами развитой страны и институтами развивающейся. Временное несоответствие на планетарном уровне — энергия потребляется быстрее, чем биосфера может ее переработать — отражается и на социальном уровне:

богатство накапливается быстрее, чем институты могут его поглотить.

Последствия предсказуемы и хорошо задокументированы. Без необходимости облагать граждан налогами правительства теряют подотчетность, которую обеспечивает налогообложение — принцип «нет налогообложения без представительства» работает в обратном порядке. Без необходимости обучения рабочей силы инвестиции в человеческий капитал стагнируют. Без необходимости развития предпринимательства экономическая диверсификация замирает. Государство превращается в механизм распределения доходов от нефти, а политика — в конкуренцию за доступ к нефтяному крану.

В контексте временного сжатия в проблеме «ресурсного проклятия» есть что-то глубоко ироничное. Страны, обладающие крупнейшими запасами сжатого времени — страны, хранящие геологическое наследие сотен миллионов лет солнечной энергии, — во многих случаях наименее

подготовлены к управлению последствиями. Наследство слишком велико, слишком внезапно и слишком концентрировано для институтов, которые развивались для управления более мелкими, медленными и распределенными потоками богатства.

Это как если бы семья со скромным достатком внезапно унаследовала миллиард долларов. При грамотных советах, тщательном планировании и строгой самодисциплине они могли бы разумно распорядиться этим неожиданным богатством. Но шансы не в их пользу — не потому, что они глупы, а потому, что ничто в их опыте не подготовило их к управлению капиталом в таких масштабах и с такой скоростью. Норвежская модель, в которой страна с сильными демократическими институтами сознательно решила инвестировать свои нефтяные богатства в суверенный фонд, вкладывая прибыль за рубежом, чтобы избежать «голландской болезни», является исключением именно потому, что она потребовала исключительной институциональной силы и дальновидности.

«Ресурсное проклятие» — это не моральный недостаток. Это структурное следствие временного несоответствия между скоростью, с которой нефть приносит богатство, и скоростью, с которой общества развивают институты для управления им. Это, говоря языком этой книги, то, что происходит, когда сжатое время встречается с несжатым управлением.

ГЛАВА 9: КРОВЬ И НЕФТЬ

Проведенный до сих пор анализ носил структурный и, намеренно, несколько бескровный характер. Плотность энергии, давление со стороны государственного управления, институциональное несоответствие. Но история нефтяной промышленности не бескровна. Во многих регионах, где она добывается, это история, написанная настоящей кровью.

Ближний Восток, обладающий примерно половиной мировых доказанных запасов традиционной нефти, практически непрерывно подвергался внешнему вмешательству с момента открытия его нефтяных месторождений в начале XX века. Границы Ирака, установленные британскими и французскими дипломатами после Первой мировой войны, определялись не по этническим или культурным признакам, а по нефтяным концессиям. Государственный переворот 1953 года против демократически избранного премьер-министра Ирана Мосаддыка был организован ЦРУ и британской

разведкой МІБ после того, как он национализировал Англо-иранскую нефтяную компанию. Войны в Персидском заливе 1991 и 2003 годов, независимо от заявленных оправданий, были неразрывно связаны со стратегическим значением ближневосточной нефти.

Западная Африка рассказывает похожую историю. Дельта Нигера, один из самых богатых нефтью регионов планеты, также является одним из самых загрязненных и охваченных конфликтами. Разливы нефти опустошили мангровые экосистемы, от которых зависят местные общины в плане рыболовства. Сжигание природного газа — процесс, сопровождающий добычу нефти, — окрасило ночное небо в оранжевый цвет и отравило воздух. Вооруженные конфликты между правительственными силами, ополченцами и нефтяными компаниями унесли жизни тысяч людей и вынудили сотни тысяч покинуть свои дома. Богатство уходит, а ущерб остается.

Центральная Азия, Латинская Америка, Центральная Африка — картина повторяется с

локальными вариациями, но с неизменной структурой. Регионы, богатые нефтью, привлекают внешнее внимание. Внешнее внимание принимает форму инвестиций, влияния, а иногда и военной силы. Цель состоит в поддержании условий, благоприятных для добычи. Это не всегда требует открытой войны — хотя иногда и требует. Чаще всего это требует поддержания определенного типа политической обстановки: достаточно стабильной для работы трубопроводов и достаточно слабой, чтобы местное население не могло эффективно претендовать на долю доходов.

Этот подход получил название нео-экстрактивизма : он является преемником колониальной эксплуатации ресурсов, отличаясь от своего предшественника по форме, но не по функциям. Прямая колонизация была дорогостоящей и требовала административной ответственности. Постколониальная модель дешевле: вы не владеете территорией; вы лишь контролируете точки въезда и выезда ресурса. Местное управление может быть

настолько неэффективным, насколько это необходимо — более того, определенная степень неэффективности полезна, поскольку она препятствует появлению сильных институтов, которые могли бы пересмотреть условия эксплуатации.

В рамках теории временного сжатия эту закономерность можно рассматривать как экстернализацию энтропии. Энергия — сжатое время — течет с периферии в центр. Страны-потребители получают продукт с низкой энтропией и высокой добавленной стоимостью: очищенное топливо, химическое сырье, материалы для современной жизни. Отходы — деградация окружающей среды, политическая нестабильность, вооруженные конфликты, катастрофы в области здравоохранения — остаются на периферии. С точки зрения центра, система термодинамически упорядочена: порядок поступает, беспорядок остается снаружи.

Это не теория заговора. Для этого не требуется тайный заговор злодеев, организующих хаос. Для

этого достаточно обычного функционирования экономических стимулов в системе, где энергия географически сконцентрирована и чрезвычайно ценна. Стимул к контролю над узкими местами имеет структурный характер; последствия этого контроля для людей, живущих рядом с этими местами, также носят структурный характер. Цивилизация-потребитель поддерживает свою внутреннюю целостность, перекладывая издержки добычи на регионы, не обладающие силой сопротивления.

Политическая риторика, направленная на максимизацию использования ископаемого топлива — стремление бурить больше, добывать больше, производить больше, независимо от последствий, — отражает эти структурные стимулы. Выгоды от добычи немедленны и сконцентрированы: дешевое топливо, экономический рост, политическая популярность. Издержки же распределены во времени и пространстве: изменение климата накапливается медленно и глобально, ущерб окружающей среде локализован в районе добычи, а

геополитическая нестабильность — это проблема кого-то другого. Структура нефтяного рынка — концентрированный, высокоценный, транспортируемый — создает политику краткосрочной добычи и долгосрочной экстернализации .

Если биогенная теория нефти верна — а научные данные её неопровержимо подтверждают — то во всём этом есть мрачный двойной смысл. Нефть — это молекулярный остаток древних организмов. Когда мы её сжигаем, мы, в точном биохимическом смысле, сжигаем древнюю жизнь. А когда мы её добываем, добыча наносит ущерб современной жизни: вытесняет целые сообщества, разрушает экосистемы, уносит жизни людей в конфликтах за ресурсы. Двойная добыча — из далёкого прошлого и из живого настоящего — является структурной особенностью механизма временного сжатия, а не случайным побочным эффектом.

Мой дед составил карту трубопроводов Плоешти , чтобы их можно было бомбить. Он делал это не из

злого умысла, а потому что нефть, текущая по этим трубопроводам, питала военную машину, которая завоевала большую часть Европы. Уничтожение румынской нефтяной инфраструктуры было, по любым стратегическим расчетам, оправданным и необходимым. Но стоит отметить, что показывает этот момент: нефть была настолько важна для ведения войны, что отставного инженера-энергетика вывезли с сибирского нефтяного месторождения и доставили над вражеской территорией в четыре часа утра, чтобы с воздуха определить места соединения трубопроводов.

Нефть — это не просто энергия. Это власть во всех смыслах этого слова — термодинамическая, политическая, военная. И география её распространения формировала географию насилия на протяжении более века. Концепция временного сжатия не морализирует по этому поводу; она определяет это как структурное следствие физических свойств, которые делают нефть столь эффективным временным компрессором: плотность

энергии, пространственная концентрация и транспортабельность. Те же свойства, которые делают нефть полезной, делают её привлекательной для борьбы. И борьба не прекращается.

ГЛАВА 10: ЯДЕРНЫЙ КРАТЧАЙШИЙ ПУТЬ

Если нефть — это сжатое время, то ядерное деление — это сжатое время в масштабе, на фоне которого нефть выглядит как петарда.

Уран-235, используемый в ядерных реакторах, не был создан на Земле. Он образовался в результате взрыва звезды — сверхновой — примерно пять миллиардов лет назад, до того, как возникла наша Солнечная система. Обломки этого взрыва, богатые тяжелыми элементами, дрейфовали в межзвездном пространстве, были захвачены гравитационным коллапсом, в результате которого образовались Солнце и его планеты, и в конечном итоге оказались внедрены в породы молодой Земли. Когда мы расщепляем атом урана в реакторе, мы высвобождаем энергию, которая была сконцентрирована в результате взрыва звезды в глубокой доисторической эпохе Солнечной системы.

Таким образом, коэффициент сжатия во времени для ядерного деления составляет не миллион, а приблизительно десять миллиардов. Десять

миллиардов лет космического времени, сжатых в цепную реакцию, протекающую за микросекунды. Если нефть открывает нам доступ к мезозойской эре, то ядерная энергия открывает нам доступ к докембрийской Вселенной — к раскаленным печам мертвых звезд.

В пересчете на плотность энергии разница столь же поразительна. Килограмм нефти содержит около 45 мегаджоулей энергии. Килограмм урана-235 содержит около 80 миллиардов мегаджоулей — примерно в два миллиона раз больше. Одна топливная гранула размером с кончик пальца, используемая в легководном реакторе, производит столько же энергии, сколько тонна угля .

Концепция временного сжатия естественным образом распространяется и на ядерную энергетику, и это расширение весьма показательно. Концепция предсказывает, что более высокая плотность энергии должна создавать более сильное структурное давление в сторону централизованного управления — и ядерная энергетика наглядно подтверждает это

предсказание. Ни один источник энергии на Земле не является более централизованным, чем ядерное деление. Каждая страна, эксплуатирующая ядерные реакторы, делает это под государственным надзором, с военной безопасностью, государственным лицензированием и режимами регулирования, не имеющими аналогов ни в одном другом секторе. Нельзя построить ядерный реактор на заднем дворе так же просто, как установить солнечные панели на крыше. Концентрация энергии в ядерном топливе настолько высока, что и структуры управления, необходимые для его регулирования, соответственно, также высоки.

Однако ядерная энергия также вносит нечто новое в концепцию сжатия времени: то, что можно назвать временным долгом в противоположном направлении.

Нефть создает долг перед прошлым. Мы потребляем невозполнимый архив — истощаем геологический сберегательный счет, который не будет пополнен ни при каких масштабах

человеческой жизни. Ядерное деление создает долг перед будущим. Отходы деления урана — отработанные топливные стержни, загрязненные материалы, продукты деления, такие как цезий-137 и стронций-90 — остаются опасно радиоактивными в течение десяти-сто тысяч лет. Эти отходы необходимо хранить, контролировать и защищать от утечек, краж и геологических нарушений дольше, чем когда-либо существовало какое-либо человеческое учреждение.

Подумайте, что это значит. Самым старым непрерывно действующим институтом в мире, пожалуй, является Католическая церковь, которой около двух тысяч лет. Самые долгоживущие цивилизации — Египет, Китай — сохраняли определенную культурную преемственность, возможно, на протяжении пяти тысяч лет, хотя и с радикальными разрывами. Сто тысяч лет — временной масштаб, в течение которого высокоактивные ядерные отходы остаются опасными, — в двадцать раз дольше, чем вся

зафиксированная история. Мы просим будущие поколения сохранять бдительность в отношении наших отходов в течение периода, который на порядок превышает всю историю человеческой цивилизации до настоящего времени.

Это временной долг: перенос издержек в далекое будущее. Нефть переносит издержки в атмосферу (углекислый газ, который будет влиять на климат на протяжении столетий). Ядерное деление переносит издержки в хранилища, которые должны функционировать в геологических масштабах времени. Оба явления являются следствием временного сжатия — того факта, что мы высвобождаем энергию в масштабах времени, радикально отличающихся от масштабов времени, в которых она была накоплена или в которых необходимо утилизировать ее отходы.

Стоит остановиться на этой симметрии. Ископаемое топливо уходит корнями в далекое прошлое, поглощая наследие. Ядерное деление устремляется в далекое будущее, налагая

обязательства. Оба явления являются формами десинхронизации — жизни в темпе, несовместимом с временными ритмами систем, от которых мы зависим.

Термоядерный синтез — процесс, питающий Солнце, который пытаются использовать в нескольких международных проектах, — в случае его осуществления изменил бы эту картину. Термоядерное топливо (изотопы водорода) доступно в больших количествах, а его основной продукт-отход (гелий) безвреден. Работающий термоядерный реактор обеспечил бы энергию высокой плотности со значительно меньшим временным долгом. Но управляемый термоядерный синтез, после семидесяти лет исследований, остается технологией будущего — всегда на тридцать лет впереди, как гласит старая шутка. До тех пор, пока он не появится, деление остается единственным способом получить энергию звездного масштаба на Земле, и деление несет в себе свой временной долг.

ГЛАВА 11: ДЕСЯТЬ МИНУТ И ТЫСЯЧА ЛЕТ

Позвольте мне рассказать вам биографию пластикового стаканчика.

Нефть, из которой сделана эта чашка, образовалась из морского планктона, фотосинтезировавшего в теплом море в меловом периоде — примерно сто миллионов лет назад. Организмы погибли, опустились на дно, были погребены под осадочными породами и следующие сто миллионов лет медленно превращались в сырую нефть под воздействием геологического тепла. Нефть мигрировала через проницаемые породы, скопилась под непроницаемой шапкой и стала ждать.

Однажды — скажем, в 2024 году — буровая установка достигла месторождения. Нефть была откачана на поверхность, транспортирована по трубопроводу на нефтеперерабатывающий завод и расщеплена на составляющие фракции. Нафтовая фракция была отправлена на нефтехимический завод, где она была полимеризована в полистирол или полипропилен. Из полимера была изготовлена чашка.

Чашка была упакована, погружена на контейнеровоз, переправлена через океан, доставлена грузовиком в распределительный центр, доставлена в кафе, наполнена кофе, использована примерно десять минут и выброшена.

Теперь стакан будет лежать на свалке от ста до тысячи лет, в зависимости от условий, медленно распадаясь на микропластик, который попадет в почву, грунтовые воды и, в конечном итоге, в океан, где будет сохраняться еще столетия.

Временная биография этой чашки охватывает примерно сто миллионов лет: от фотосинтеза исходного материала до момента изготовления, десяти минут функционального использования и нескольких сотен лет пребывания в качестве отходов после использования. Соотношение времени образования к времени использования составляет порядка десяти к четырнадцатой — сто триллионов к одному. Соотношение времени пребывания в отходах к времени использования составляет порядка десяти миллионов к одному.

Это не необычный пример. Это *обычный* пример. Пластиковый пакет, в котором вы несёте продукты из супермаркета домой, имеет схожую историю. То же самое относится к пенополистирольному подносу для еды на вынос, пузырчатой плёнке, защищающей ваш заказ, одноразовой бритве, футболке из масс-маркета, которую вы наденете шесть раз, прежде чем выбросить. В каждом случае энергия, накопленная за геологическое время, преобразуется через сложную промышленную цепочку в объект, который служит сиюминутной цели, а затем становится отходами, сохраняющимися веками.

С термодинамической точки зрения это примечательно. Нефть — вещество с низкой энтропией, представляющее собой высокую степень молекулярной упорядоченности, сконцентрированную сотнями миллионов лет геологической работы. Промышленная цепочка, превращающая её в пластиковый стаканчик, временно поддерживает и расширяет эту упорядоченность: переработка, полимеризация и

формование — все это процессы, создающие структуру. Но эта структура предназначена для одноразового использования и утилизации. Конечным результатом является свалка — хранилище максимального беспорядка, где тщательно выстроенная молекулярная архитектура стаканчика разрушается на фрагменты, которые бесполезны и наносят вред окружающей среде.

Вопрос, который ставит перед нами концепция временного сжатия в отношении этого процесса, не является моральным. Он носит структурный характер: что это означает для жизнеспособности цивилизации, когда значительная часть её энергетических ресурсов направляется на производство объектов с ничтожно малым сроком службы?

Ответ заключается в том, что это ускоряет приближение к границе жизнеспособности без соответствующего повышения устойчивости или потенциала цивилизации. Энергия, затраченная на производство и транспортировку пластикового

стаканчика, могла бы быть направлена на создание долговечной инфраструктуры, внедрение возобновляемых источников энергии или восстановление экосистем — цели, которые замедлили бы приближение к границе или отдалили бы её. Вместо этого она превращается в свалку. Сжатое время тратится впустую в самом буквальном смысле: оно используется для производства отходов.

Глобальные пищевые отходы — это еще один аспект того же явления. Примерно треть всей пищи, производимой для потребления человеком, теряется или выбрасывается — около 1,3 миллиарда тонн в год. Энергия, заложенная в этой пище — дизельное топливо для тракторов, природный газ для производства удобрений, топливо для транспорта и холодильных установок — значительна. Только на пищевые отходы приходится примерно от восьми до десяти процентов глобальных выбросов парниковых газов. Мы тратим сжатое время на выращивание продуктов питания, которые никто не ест.

Парадокс Джевонса — названный в честь экономиста XIX века Уильяма Стэнли Джевонса — объясняет, почему эта закономерность сохраняется, несмотря на повышение эффективности. Джевонс заметил, что повышение эффективности использования угля не привело к снижению общего потребления угля; наоборот, оно увеличило его, поскольку более дешевая энергия сделала экономически целесообразными больше видов деятельности. Та же логика применима и к нефти. По мере того, как добыча и переработка становятся дешевле и эффективнее, расширяется ассортимент продукции, которую можно экономически выгодно производить из нефти. То, что столетие назад было бы слишком дорого производить из нефти — одноразовая упаковка, одноразовая одежда, доставка незначительных покупок на следующий день — становится не только возможным, но и обыденным явлением.

Дешевое сжатое время создает цивилизацию одноразового использования. Когда энергия стоит

практически ничего по сравнению со стоимостью человеческого времени, дешевле заменить, чем отремонтировать; дешевле отправить новый гаджет из Китая, чем починить сломанный в ящике; дешевле завернуть все в пластик и выбросить его, чем разработать многоразовую упаковку. Экономика рациональна. Термодинамика катастрофична.

Важно — как я и обещал в предисловии — отделять термодинамические наблюдения от моральных суждений. Данная концепция не утверждает, что потребительство — это зло. Она утверждает, что система, которая направляет значительную часть своих сжатых во времени энергетических ресурсов на производство продукции с чрезвычайно коротким функциональным сроком службы, по определению ускоряет приближение к пределу жизнеспособности, не повышая при этом устойчивость. Другое распределение той же энергии — на товары длительного пользования, возобновляемую инфраструктуру, экосистемные услуги — привело бы к более медленному

приближению к пределу жизнеспособности при тех же общих затратах. Концепция определяет структурную закономерность. Что общества решат с этим делать — это вопрос политики, культуры и ценностей.

ГЛАВА 12: АРХЕОЛОГИЯ НАС

Представьте, что вы геолог, работающий через сто тысяч лет.

Цивилизация, породившая эту книгу, давно исчезла — рухнула ли она, трансформировалась или эволюционировала во что-то неузнаваемое, пока не имеет значения. Вы делаете то, что геологи делали всегда: изучаете геологическую летопись. Вы бурите керны из осадочных слоев, исследуете тонкие шлифы под микроскопом, анализируете изотопные соотношения. И вы обнаружили нечто необыкновенное.

В геологической толще есть слой. Он тонкий — возможно, несколько сантиметров толщиной в большинстве мест, в некоторых местах толще. Он распространен по всему миру, присутствует в океанических отложениях, на дне озер, в дельтах рек и на континентальных шельфах на каждом континенте. Он содержит материалы, которые не встречаются ни в одном другом слое за всю четырех с половиной миллиардную историю Земли.

Этот слой содержит синтетические полимеры — пластмассы — в концентрациях, не имеющих природных аналогов. Он содержит микропластик: фрагменты полиэтилена, полипропилена и полистирола, измельченные волновым воздействием и ультрафиолетовым излучением до частиц размером меньше песчинки, но все еще идентифицируемых по их молекулярной структуре. Он содержит летучую золу — сферические частицы стекла, образующиеся при сжигании угля при высоких температурах. Он содержит радионуклиды — плутоний-239, цезий-137, углерод-14 — в соотношениях, указывающих на испытания ядерного оружия и аварии на реакторах. Он содержит новые химические соединения — пестициды, фармацевтические препараты, промышленные растворители — которые не встречаются в природе.

В нём содержатся куриные кости.

Это не шутка. Домашняя курица, *Gallus gallus*. Домашняя птица (*Domesticus domesticus*) — безусловно, самая многочисленная птица на Земле: в

любой момент времени насчитывалось около 33 миллиардов особей, большинство из которых выращивались в промышленных масштабах и забивались через несколько недель после вылупления. Их кости, ежегодно выбрасываемые миллиардами, химически отличаются от костей диких птиц (из-за быстрого роста, аномальных пропорций и пищевых маркеров) и будут одними из самых многочисленных ископаемых позвоночных в этом слое. Будущие палеонтологи Антропоцен мы познаем не через его памятники, а через его остатки.

Стратиграфы, изучавшие этот слой — настоящие стратиграфы, работающие в настоящем времени, а не в рамках мысленного эксперимента, — предложили его в качестве маркера новой геологической эпохи: антропоцена. Этот термин, популяризированный химиком-атмосферологом Полом Крутценом в 2000 году, обозначает период, в течение которого деятельность человека стала доминирующим фактором в геологии и экосистемах Земли. Точная дата начала спорна, но одно из наиболее известных

предположений относит его к середине XX века, когда резко ускорились испытания ядерного оружия, производство пластмасс и потребление ископаемого топлива.

С точки зрения этой книги, слой антропоцена представляет собой геологический след временного сжатия. Это то, что получается, когда цивилизация растрчивает геологическое наследие в геологический миг. Этот слой кодирует эту транзакцию: с одной стороны, сотни миллионов лет накопленной солнечной энергии, хранящейся в молекулярных связях под поверхностью Земли; с другой стороны, несколько столетий бурной промышленной деятельности, остатки которой — пластик, радионуклиды, экзотические химикаты, миллиарды куриных костей — откладываются в виде тонкого, глобально распространенного слоя в геологической летописи.

Этот слой также содержит информацию о потоке отходов, описанном в предыдущей главе. Пластик в слое антропоцена — это не пластик долговечной

инфраструктуры, а преимущественно одноразовая упаковка, бутылки, пакеты и фрагменты. Это материальные остатки цивилизации, которая превратила геологическое терпение в сиюминутное удобство. Каждый микропластик в океанических отложениях представляет собой транзакцию: древний солнечный свет, захваченный мезозойским планктоном, сжатый геологическим временем в нефть, переработанный в полимер, отлитый в вилку или соломинку, использованный один раз и выброшенный в систему, которая не имеет способа его восстановить.

В этом есть что-то почти невыносимо пронзительное. Если будущий разум обнаружит наш слой и правильно его истолкует, он увидит цивилизацию, которая открыла необычайное сокровище — концентрированную энергию сотен миллионов лет — и преобразовала значительную её часть в объекты, которые использовались всего несколько минут и будут существовать бесполезно тысячелетиями. Он увидит коэффициент сжатия

времени, закодированный в материальной летописи: древний вклад, мимолетное использование, постоянный остаток.

Чего они не увидят — потому что рок-музыка не сохраняет институты, идеи или намерения — так это того, понимали ли мы, что делаем. Видели ли мы закономерность. Пытались ли мы ее изменить. Добились ли мы успеха.

В следующих главах мы перейдем от диагностики к прогнозу. Мы рассмотрели, что такое временное сжатие, к чему оно привело и что оставило после себя. Теперь давайте спросим: что будет дальше? Сможет ли биосфера поглотить то, что мы уже высвободили? Сможет ли наша цивилизация достаточно быстро изменить курс? И как на самом деле будет выглядеть мир после ресинхронизации ?

ГЛАВА 13: БЫСТРЕЕ, ЧЕМ МИР МОЖЕТ ПОГЛОТИТЬ

Биосфера — это губка. Очень хорошая губка — пожалуй, самая сложная система химических процессов во всей известной Вселенной. Но скорость её впитывания ограничена, а мы вносим в неё больше, чем она может впитать.

Ежегодно деятельность человека выбрасывает в атмосферу около 36 миллиардов тонн углекислого газа, главным образом за счет сжигания ископаемого топлива, а также за счет вырубки лесов и производства цемента. Из этого общего количества примерно половину поглощают биосфера и океаны. Леса поглощают углерод посредством фотосинтеза. Океаны растворяют углекислый газ на своей поверхности, этот процесс ускоряется холодной водой и волновым воздействием. Почвы связывают углерод посредством разложения и связывания минералов.

Другая половина — около 18 миллиардов тонн в год — остается в атмосфере. Она накапливается. Год за годом концентрация углекислого газа в атмосфере

растет: с примерно 280 частей на миллион до промышленной революции до более чем 420 частей на миллион сегодня, и нет никаких признаков стабилизации.

Это химический признак временного несоответствия. Скорость выбросов превышает скорость поглощения. Если бы мы выбрасывали углекислый газ со скоростью, с которой биосфера могла бы его перерабатывать, концентрация стабилизировалась бы. Но этого не происходит. Мы выбрасываем углекислый газ примерно вдвое быстрее, чем планета может его поглощать. Избыток накапливается, состав атмосферы меняется, и климат реагирует.

Концепция временного сжатия добавляет конкретное понимание к этому хорошо известному наблюдению: несоответствие не случайно. Это структурное следствие коэффициента временного сжатия. Мы высвобождаем углерод, который был депонирован в течение сотен миллионов лет, и мы высвобождаем его в течение столетий. Механизмы

поглощения биосферы эволюционировали, чтобы справляться с естественным круговоротом углерода — вулканами, выветриванием, биологическим дыханием, — который работает со скоростью на много порядков ниже, чем промышленное сжигание. Требовать от биосферы поглощения выбросов углерода индустриальной эпохи — это все равно что просить кухонную губку впитать бассейн. Губка прекрасно работает в том масштабе, для которого она была предназначена. Проблема в скорости вливания.

Климатическая система усугубляет это несоответствие за счет тепловой инерции. Даже если бы все выбросы углекислого газа прекратились завтра — что невозможно, но является полезным мысленным экспериментом, — планета продолжала бы нагреваться еще десятилетиями. Океанам, которые поглощают примерно девяносто процентов избыточного тепла, удерживаемого парниковыми газами, требуются столетия, чтобы достичь теплового равновесия. Ледяные щиты Гренландии и Антарктиды реагируют на это в масштабах столетий

и тысячелетий. Глубоководная циркуляция океана, которая перераспределяет тепло по всему земному шару, действует в масштабах тысячи лет и более.

Это означает, что последствия временного сжатия сами по себе сжимаются во времени неприятным образом: мы выбрасываем углерод в атмосферу десятилетиями, но климат реагирует на это столетиями, и полное равновесие не будет ощущаться в течение тысячелетий. Мы управляем автомобилем, рулевое управление которого реагирует с пятисотлетней задержкой. К тому времени, когда мы увидим обрыв, мы давно пройдем точку невозврата.

Проблема инфраструктуры также носит временной характер. Глобальная инфраструктура ископаемого топлива — скважины, трубопроводы, нефтеперерабатывающие заводы, электростанции, судоходные флоты, дорожные сети и автомобильные парки — представляет собой инвестиции в размере примерно ста триллионов долларов. Эта инфраструктура была построена на десятилетия. Электростанции работают от тридцати до пятидесяти

лет. Трубопроводы и нефтеперерабатывающие заводы — от двадцати до сорока. Автомобили — от пятнадцати до двадцати. Замена этой инфраструктуры возобновляемыми источниками энергии — это не просто вопрос политической воли; это вопрос физического времени. Невозможно перестроить инфраструктуру стоимостью сто триллионов долларов за одну ночь, за десятилетие или — что вполне вероятно — менее чем за тридцать-пятьдесят лет.

Концепция временного сжатия сводит все это к одному структурному вопросу: достаточно ли высока скорость адаптации нашей энергетической системы, чтобы поддерживать траекторию развития биосферы и цивилизации в пределах допустимого диапазона? Если скорость адаптации превышает критическую скорость, все в порядке. Если нет, то нет. Эта концепция не дает ответа на этот вопрос — ни одна концепция не может, потому что ответ зависит от будущих решений, которые еще не приняты. Но она

проясняет суть вопроса, и я считаю, что эта ясность важна.

ГЛАВА 14: ИЛЛЮЗИЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Существует противоположное мнение относительно углекислого газа, которое звучит так: углекислый газ не является загрязнителем. Это пища для растений. Чем больше его, тем больше фотосинтеза, тем больше рост растений, тем зеленее планета. Мы не отравляем Землю; мы её удобряем .

Этот аргумент не совсем неверен, и это важно, потому что полностью неверные аргументы легко опровергнуть. Аргументы, частично верные и частично неверные, более опасны, потому что верная часть делает неверную часть правдоподобной.

Часть ответа частично верна: углекислый газ действительно является питательным веществом для растений. При увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере многие растения начинают фотосинтезировать быстрее — по крайней мере, на начальном этапе. Спутниковые наблюдения за последние несколько десятилетий подтвердили измеримое «озеленение» растительности на Земле: площадь листьев увеличилась примерно на пять

процентов с 2000 года, причем это увеличение частично объясняется более высокими концентрациями углекислого газа, а частично — другими факторами, такими как потепление, изменение количества осадков и осаждение азота. Контролируемые эксперименты, в которых сельскохозяйственные культуры выращиваются в условиях повышенной концентрации углекислого газа — так называемые эксперименты по обогащению воздуха CO₂ в свободном пространстве (Free-Air CO₂ Enrichment, или FACE) — подтверждают, что многие растения растут быстрее при повышении концентрации углекислого газа.

Пока все идет хорошо. Но вот тут-то история и усложняется.

Во-первых, эффект удобрения достигает насыщения. Растения не растут бесконечно быстрее по мере увеличения концентрации углекислого газа. Их рост ограничивается не только углеродом, но и водой, азотом, фосфором, калием и температурой — принцип, сформулированный химиком XIX века

Юстусом фон Либигом и известный как закон минимума. Рост ограничивается тем питательным веществом, которого меньше всего, независимо от того, насколько много других. Во многих экосистемах лимитирующим фактором является не углекислый газ, а вода или азот. Добавление большего количества углекислого газа в экосистему, испытывающую дефицит воды, не делает её зеленее; это просто делает избыток углекислого газа несущественным.

Во-вторых, эксперименты FACE — наиболее строгие проверки гипотезы об удобрении — показывают, что первоначальный толчок к росту имеет тенденцию ослабевать с годами, поскольку другие питательные вещества становятся дефицитными. Они также показывают, что растения, выращенные в условиях повышенной концентрации углекислого газа, часто имеют сниженную питательную ценность: более низкое содержание белка, более низкие концентрации цинка и железа, более высокое соотношение крахмала к белку. Растения становятся крупнее, но менее питательны.

Кормление большего числа людей менее питательной пищей не является однозначной выгодой.

В-третьих, и это наиболее важно с точки зрения этой книги: даже если бы эффект удобрения был сильнее и продолжительнее, чем сейчас, это не решило бы проблему временного несоответствия. Вопрос не в том, получают ли отдельные растения выгоду от более высокого уровня углекислого газа. Вопрос в том, может ли биосфера в целом поглощать выбрасываемый нами углерод достаточно быстро, чтобы предотвратить его накопление в атмосфере.

Как мы видели в предыдущей главе, ответ — нет. Биосфера поглощает примерно половину. Остальное накапливается. Даже если бы эффект удобрения каким-то образом удвоил скорость поглощения биосферой — чего никто не прогнозирует — она все равно не смогла бы угнаться за нынешними темпами выбросов. Разрыв между выбросами и поглощением — это признак временного сжатия, и никакое озеленение на периферии его не сократит.

Существует аналогичный спор о потеплении. Некоторые комментаторы указывают на то, что потепление может быть полезным в определенных регионах: более длительный вегетационный период в высоких широтах, снижение затрат на отопление, открытие арктических судоходных путей. Эти преимущества реальны. Но это преимущества конечного *состояния* — окончательного равновесия после адаптации климата. Проблема заключается в *скорости перехода* .

Существующая инфраструктура — города, фермы, системы водоснабжения, экосистемы — была построена с учетом нынешнего климата. Адаптация к другому климату требует огромных инвестиций, и эти инвестиции требуют времени. Потепление на два градуса Цельсия за десять тысяч лет будет поглощено экосистемами и человеческим обществом без серьезных нарушений; виды мигрируют, сельское хозяйство изменится, инфраструктура будет развиваться. То же самое потепление за сто лет — с которым мы сталкиваемся — одновременно создает

нагрузку на каждую систему: экосистемы не смогут достаточно быстро мигрировать, инфраструктура не сможет достаточно быстро восстанавливаться, институты не смогут достаточно быстро адаптироваться.

Это, опять же, временное несоответствие. Пункт назначения может быть приемлемым. Проблема в скорости передвижения. А скорость, как мы видели на протяжении всей этой книги, — это то, что лежит в основе сжатия времени.

ГЛАВА 15: ЖИЗНЬ В РАМКАХ МНОЖЕСТВА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ

В основе технической статьи, сопровождающей эту книгу (полный текст исследовательской работы включен в приложение (Кригер, 2026; <https://doi.org/10.5281/zenodo.18673740>)), лежит концепция, которая звучит сложно на математическом языке, но, если отбросить формализм, так же интуитивно понятна, как семейный бюджет.

Это понятие называется *множеством жизнеспособности*.

Представьте себе финансовое положение вашей семьи. У вас есть доходы и расходы. Пока ваши расходы не превышают ваши доходы — плюс любые сбережения, которые вы можете использовать, — вы остаетесь платежеспособным. Ваш банковский счет остается выше нуля. Вы можете платить за аренду, покупать еду, оплачивать счета за электричество. Вы, говоря языком математики, находитесь внутри своего множества жизнеспособности: области финансовых

состояний, в которых ваша семья может продолжать функционировать.

Теперь представьте, что вы унаследовали крупную сумму и начинаете тратить деньги бездумно — быстрее, чем ваш доход успевает восполняться. Какое-то время всё хорошо. Вы всё ещё находитесь в пределах финансовой устойчивости, потому что ваши сбережения компенсируют этот дефицит. Но если темпы расходов достаточно долго превышают темпы пополнения, этот резерв иссякает, и вы выходите за эту границу. Вы не можете платить за аренду. Всё рушится. Вы покидаете финансовую устойчивость, и восстановление — если оно вообще возможно — будет болезненным и медленным.

В этой концепции биосфера и цивилизация подобны двум домохозяйствам, имеющим общий бюджет. Биосфера обладает собственным набором условий жизнеспособности: диапазоном условий — температура, состав атмосферы, химический состав океана, биоразнообразие — в рамках которых она может поддерживать свои основные функции.

Цивилизация также обладает собственным набором условий жизнеспособности: диапазоном условий — энергоснабжение, производство продуктов питания, институциональная стабильность, технологический потенциал — в рамках которых она может поддерживать себя. Общий набор условий жизнеспособности — это его перекрытие: диапазон условий, в которых оба явления могут функционировать одновременно.

На протяжении большей части истории человечества эта взаимосвязанная система комфортно располагалась в пределах этого пересечения. Биосфера была здорова. Цивилизация предъявляла умеренные требования. Часы тикали с одинаковой скоростью. Места было достаточно.

Сжатие времени изменило это. Высвобождая геологическую энергию в промышленных масштабах, цивилизация подтолкнула биосферу к пределу ее жизнеспособности — повышение температуры, изменение состава атмосферы, нарушение биогеохимических циклов. Одновременно, построив

цивилизацию, зависящую от непрерывного использования ископаемого топлива, мы сами приблизились к пределу своей жизнеспособности: зависимость от истощающегося ресурса, зависимость от инфраструктуры, на замену которой уйдут десятилетия.

В рамках данной концепции говорится, что взаимосвязанная система движется к границе множества совместной жизнеспособности. В ней не говорится, что мы её пересечём. Пересечём ли мы её, зависит от скорости адаптации — насколько быстро мы сможем перейти к возобновляемым источникам энергии, восстановить инфраструктуру и позволить биосфере восстановиться — относительно скорости приближения к этой границе.

Полезная аналогия из медицины. Здоровый организм обладает гомеостатическими резервами: вы можете перенести лихорадку, рану, период голодания, потому что ваш организм имеет буферы — запасённую энергию, иммунную защиту, механизмы восстановления. Если вы подвергаетесь слишком

большому количеству стрессовых воздействий одновременно, буферы переполняются, и организм переходит порог, после которого восстановление становится затруднительным или невозможным. Граница жизнеспособности — это пороговый уровень организма, масштабированный до уровня планеты.

Наука о критических переходах — область, изучающая поведение сложных систем вблизи критических точек, — рассказывает нам, чего следует ожидать по мере приближения системы к границе ее жизнеспособности. Восстановление после возмущений замедляется: системе требуется больше времени, чтобы оправиться от каждого шока. Изменчивость возрастает: система более резко колеблется между состояниями. Происходит мерцание: система начинает чередоваться между своим текущим состоянием и состоянием, к которому она стремится.

Наблюдаем ли мы эти сигналы? Этот вопрос действительно остается открытым. Климатологи выявили потенциальные переломные моменты в

земной системе — ледяной щит Гренландии, тропические леса Амазонки, термохалинная циркуляция Атлантики, запасы углерода в вечной мерзлоте — которые могут демонстрировать пороговое поведение . Некоторые исследователи утверждают, что сигналы раннего предупреждения уже обнаруживаются в климатических данных. Другие считают, что доказательства неоднозначны. Концепция временного сжатия не разрешает этот спор; она предоставляет структурный словарь для понимания сути дискуссии.

Аналогия с семейным бюджетом имеет еще одну важную особенность: бюджету безразличны ваши намерения. У вас могут быть самые лучшие планы в мире — подробная стратегия выхода из долгов, электронная таблица, поддерживающий вас бухгалтер, — но если ваши расходы превышают ваши доходы плюс сбережения, вы все равно переступите эту границу. Благие намерения без достаточной скорости действий недостаточны. Граница

жизнеспособности — это физическая реальность, а не моральная. Она не подлежит обсуждению.

Пожалуй, это самое важное, что говорит данная концепция. Вопрос не в том, хотим ли мы оставаться в пределах множества жизнеспособных вариантов — конечно, хотим. Вопрос в том, достаточно ли быстро мы меняемся, чтобы это сделать. И на этот вопрос, как мы увидим в следующих главах, нет простого ответа.

ГЛАВА 16: ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ СИГНАЛЫ

В начале 2000-х годов группа экологов, изучавших озерные системы, заметила нечто необычное.

поведение озера менялось характерным образом. Вода становилась слегка мутнее, затем очищалась, затем снова мутнела, как будто озеро колебалось между двумя состояниями. Колебания становились всё сильнее. Время, необходимое для очистки воды после возмущения, увеличивалось. А затем, внезапно, озеро перевернулось. Оно стало зелёным и оставалось зелёным.

Наблюдаемые экологами *сигналы были ранними предупреждениями* — характерными признаками того, что сложная система приближается к критическому переходу. Теория, лежащая в основе этих сигналов, хорошо зарекомендовала себя в науке о динамических системах и применима далеко за пределами озер. Она применима к экосистемам, финансовым рынкам, климатическим системам и — если аргументация этой книги верна — к

взаимосвязанной системе биосфера-цивилизация в целом.

Теория работает следующим образом. Система, находящаяся в стабильном состоянии, обладает устойчивостью: если её надавить, она окажет сопротивление. Нарушите температурный режим здоровой экосистемы, и внутренние механизмы обратной связи восстановят равновесие. Нарушите ценовой режим стабильного рынка, и покупатели и продавцы скорректируют отклонение. Система обладает тем, что физики называют восстанавливающей силой.

По мере приближения системы к пороговому значению — под действием медленного, постоянного давления, такого как поступление питательных веществ в озеро или накопление углекислого газа в атмосфере, — восстанавливающая сила ослабевает. Система всё ещё возвращается в равновесие после возмущения, но на это требуется больше времени. Это называется критическим замедлением. Это динамический эквивалент шара в чаше: когда чаша

наклоняется, шар всё ещё катится обратно к центру, но всё более и более медленно, пока чаша не наклонится достаточно сильно, чтобы шар перекатился через край и попал в новую чашу.

Практические признаки критического замедления поддаются измерению. Время восстановления после возмущений увеличивается. Дисперсия переменных состояния системы возрастает — флуктуации становятся больше. Автокорреляция увеличивается — каждое измерение все больше похоже на предыдущее, поскольку система теряет способность быстро изменяться. А в некоторых случаях система начинает мерцать: перескакивая между текущим состоянием и состоянием, к которому ее подталкивают, словно проверяя почву.

Наблюдаем ли мы эти сигналы в земной системе? Это вопрос, который активно исследуют ученые, и честный ответ: возможно, но доказательства этому спорны.

Некоторые наблюдения наводят на определенные мысли. Увеличение частоты и интенсивности

экстремальных погодных явлений — волн жары, засух, наводнений, ураганов необычайной силы — согласуется с системой, изменчивость которой возрастает по мере приближения к граничному состоянию. Ускоряющаяся скорость вымирания видов — оцениваемая в сто-тысячу раз выше естественной фоновой скорости — может отражать растущее напряжение в биосфере. Растущая волатильность финансовых рынков, политических систем и цепочек поставок может — и я подчеркиваю, *может* — отражать снижение устойчивости цивилизационной системы.

Сложность заключается в различении сигнала от шума. Экстремальные погодные явления происходили всегда. Виды всегда вымирали. Финансовые кризисы всегда случались. Вопрос в том, изменилась ли закономерность *этих* событий — их частота, интенсивность, кластеризация и время восстановления — таким образом, чтобы это соответствовало приближению к критическому переходному периоду. Это статистический вопрос, а

данные зашумлены, базовые показатели оспариваются, а системы сложны.

Теория временного сжатия не утверждает, что доказала приближение к критическому переходу. Она утверждает нечто более скромное и, на мой взгляд, более полезное: она предоставляет структурное основание ожидать *ранних* предупреждающих сигналов, если это так. Если взаимосвязанная система биосфера-цивилизация действительно движется к границе своего общего множества жизнеспособности — под влиянием временного сжатия и его последствий — то общие результаты теории критического перехода предсказывают, что должны наблюдаться определенные признаки. Поиск этих признаков — это не паникерство, а благоразумие. Это эквивалент проверки показаний приборов на приборной панели, когда звук двигателя изменился.

Критическое замедление имеет одно особенно неприятное последствие, о котором стоит упомянуть. Если система действительно приближается к пороговому значению, то то, что нам больше всего

нужно — быстрая адаптация — становится сложнее именно тогда, когда это наиболее важно. Система, находящаяся вблизи критической границы, вялая: ей требуется больше времени для реагирования на вмешательство, больше времени для изменения направления, больше времени для восстановления после потрясений. Чем ближе мы к границе, тем сложнее от нее отклониться. Это не повод для отчаяния, но это повод для срочности. Действовать нужно до того, как начнут мигать индикаторы, а не после.

ГЛАВА 17: ОБРАЩЕНИЕ ВНУТРЬ СЕБЯ

Существует обнадеживающая история о будущем цивилизации, которая звучит так: мы дематериализуемся .

Аргумент прост и отчасти верен. Всё большая часть экономической активности осуществляется в цифровом формате — с помощью программного обеспечения, передаётся в виде данных, потребляется в виде информации. Электронное письмо заменяет письмо. Видеозвонок заменяет авиаперелёт. Сервис потокового вещания заменяет полку с пластиковыми дисками. Электронная книга заменяет печатный том. В каждом случае материальный след на одну транзакцию значительно сократился. Информационная интенсивность мировой экономики — количество обрабатываемых битов на доллар продукции — увеличилась на порядки с 1970 года.

Если эта тенденция сохранится, говорят мудрецы, цивилизация может претерпеть то, что я называю *внутренним поворотом* : переход от экстенсивного роста (больше материального производства, больше

материальных вещей) к интенсивному росту (больше вычислений, больше информации, большая ценность на единицу энергии). Нам не нужно будет потреблять меньше; нам нужно будет потреблять по-другому — заменяя физическую деятельность информационными эквивалентами, которые обеспечивают ту же или большую ценность при гораздо меньших материальных затратах.

Это привлекательная концепция. Она предполагает, что проблему сжатия времени можно решить не замедлением, а изменением направления — направив цивилизационный двигатель внутрь, от материи к разуму. И есть реальные доказательства того, что некая версия этого уже происходит. В ряде стран с высоким уровнем дохода достигнуто то, что экономисты называют абсолютным разрывом: рост ВВП сопровождается снижением внутреннего потребления материальных ресурсов и выбросов углекислого газа.

Но в этой истории есть проблема, и у этой проблемы есть название: парадокс Джевонса.

В 1865 году английский экономист Уильям Стэнли Джевонс опубликовал книгу под названием «*Угольный вопрос*», в которой он отметил, что повышение эффективности паровых двигателей не привело к снижению потребления угля — наоборот, оно его увеличило. Почему? Потому что более эффективные двигатели сделали деятельность, использующую уголь в качестве топлива, дешевле, что сделало экономически целесообразными многие виды деятельности, а это, в свою очередь, увеличило общий спрос. Повышение эффективности было нивелировано ростом спроса.

Та же логика с удручающей последовательностью применима и к цифровизации. Энергетические затраты на одно электронное письмо ничтожны. Но общее потребление энергии центрами обработки данных, сетевой инфраструктурой, устройствами конечных пользователей и производством электроники отнюдь не незначительно. Только центры обработки данных потребляют примерно от одного до двух процентов мировой электроэнергии, и

эта цифра быстро растет — по прогнозам, к 2030 году она достигнет трех-четырех процентов, а возможно, и значительно больше по мере масштабирования рабочих нагрузок в области искусственного интеллекта. Обучение одной крупной модели ИИ потребляет энергию порядка миллиона киловатт-часов — это сопоставимо с потреблением энергии за всю жизнь нескольких десятков человек.

Физическая инфраструктура цифровой экономики сама по себе чрезвычайно материалоемка. Для производства полупроводников требуются сверхчистая вода, редкоземельные элементы, экзотические химические вещества и чистые помещения с поразительной точностью. Подводные кабели проходят через океаны. Спутниковые группировки вращаются вокруг Земли. Миллиарды смартфонов, ноутбуков и планшетов производятся, поставляются, используются в течение нескольких лет и выбрасываются, способствуя быстрому росту потока отходов на планете.

Более того, кажущаяся дематериализация богатых экономик отчасти является иллюзией бухгалтерского учета. Когда страна передает производство на аутсорсинг в другую страну, ее внутреннее потребление материалов снижается, но потребление материалов не исчезает; оно перемещается. Исследования, отслеживающие общий материальный след потребляемых товаров (включая импорт), показывают, что многие «дематериализованные» экономики просто перенесли свою материалоемкость за границу, а не устранили ее.

Всё это вовсе не означает, что цифровизация бесполезна для решения проблемы временного сжатия. Она действительно снижает материальные затраты на единицу продукции в некоторых видах деятельности, и это снижение реально. Но это означает, что сам по себе «поворот внутрь» вряд ли решит фундаментальное несоответствие между темпами потребления ископаемого топлива и темпами его поглощения биосферой. Необходимы повышения эффективности. Но их недостаточно.

Если они будут поглощены возросшим спросом — как предсказывает парадокс Джевонса — они дадут время, но не решат проблему.

ГЛАВА 18: ПРОБЛЕМА КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Цифровизация вносит более тонкий аспект временного несоответствия, не имеющий ничего общего с энергопотреблением, а связанный исключительно со скоростью.

Рассмотрим следующий сценарий. Система искусственного интеллекта управляет глобальной цепочкой поставок. Она обрабатывает данные с тысяч датчиков, анализирует прогнозы спроса и принимает решения о закупках и маршрутизации за миллисекунды. Ее решения оказывают влияние на физический мир: корабли меняют курс, склады корректируют запасы, заводы меняют графики производства. Система чрезвычайно эффективна — намного быстрее и отзывчивее любого человека-менеджера.

Но физические системы, которыми оно управляет, не работают за миллисекунды. Кораблям требуются недели, чтобы пересечь океаны. Урожаю нужно несколько месяцев, чтобы вырасти. Лесам требуются десятилетия, чтобы восстановиться после

вырубки. Экосистемам требуются столетия, чтобы восстановиться после нарушений. Круговорот веществ в океане завершается за тысячу лет.

Искусственный интеллект принимает решения с одной скоростью. Мир реагирует с другой. Соотношение между ними — которое в технической статье, сопровождающей эту книгу, называется коэффициентом принятия решения и реагирования — может быть огромным: решения, принимаемые за миллисекунды, управляют системами со временем реакции, исчисляемым столетиями. Этот коэффициент структурно аналогичен коэффициенту временного сжатия нефти: несоответствие между временным масштабом действующей системы и временным масштабом системы, на которую она воздействует.

Это проблема контура управления. В технике контур управления — это система обратной связи: термостат измеряет температуру, сравнивает её с целевым значением и регулирует отопление. Для корректной работы контура контроллер должен уметь

воспринимать последствия своих действий и соответствующим образом корректировать работу. Если реакция задерживается — если комнате требуются часы, чтобы прогреться после того, как термостат включит бойлер, — контроллер может резко перегреться, значительно превысив целевое значение до того, как поступит обратная связь.

Теперь перенесём это на планетарный уровень. Экономическая система, принимающая решения со скоростью вычислений — покупка, продажа, транспортировка, производство — управляет физическими и экологическими системами, которые реагируют со скоростью биологии и геологии. Экономические сигналы поступают в реальном времени; экологические последствия проявляются через десятилетия или столетия. Обратная связь настолько медленна по сравнению с циклом принятия решений, что лица, принимающие решения, никогда не сталкиваются с последствиями своих решений вовремя, чтобы их исправить.

Это не гипотетическая проблема будущего. Это структура настоящего. Глобальные финансовые рынки принимают решения за микросекунды относительно товаров, экологический след которых проявляется на протяжении десятилетий. Трейдеры сельскохозяйственной продукции реагируют на квартальную прибыль, в то время как почвы, от которых они зависят, деградируют на протяжении поколений. Руководители рыболовных хозяйств устанавливают ежегодные квоты на популяции рыб, восстановление которых занимает десятилетия. В каждом случае временные рамки принятия решения и реагирования не совпадают на порядки.

Цифровизация и ИИ, скорее всего, только увеличат этот разрыв. Более быстрое принятие решений не ускоряет реакцию мира. Оно лишь увеличивает несоответствие. Человек, управляющий цепочкой поставок и принимающий решения еженедельно, уже работает быстрее, чем экосистемы, на которые эти решения влияют. ИИ, принимающий те же решения за миллисекунды, не больше

соответствует экологическому временному масштабу — он, наоборот, в миллиард раз меньше ему соответствует.

Концепция сжатия времени, начавшаяся с несоответствия между геологическим и промышленным временем, таким образом, распространяется на новую область: несоответствие между вычислительным и экологическим временем. Первое несоответствие — нефть — носит энергетический характер: мы слишком быстро высвобождаем накопленную энергию. Второе несоответствие — принятие решений в цифровой среде — носит информационный характер: мы принимаем решения слишком быстро, чтобы системы, которыми мы управляем, успели отреагировать. Оба являются формами десинхронизации. Оба создают риски. И второе может оказаться столь же значимым, как и первое.

Орбитальные солнечные электростанции, космические вычисления, экосистемы, управляемые искусственным интеллектом — это технологии,

которые могли бы решить проблему энергетического несоответствия (за счет работы на основе текущей солнечной энергии без временного сжатия), но при этом потенциально усугубить информационное несоответствие (за счет еще большего отрыва процесса принятия решений от ритмов биосферы). В будущем может возникнуть не та же проблема временного сжатия, с которой мы сталкиваемся сегодня. Возможно, возникнет другая. Как показывает данная концепция, релевантной переменной является не источник энергии или место проведения вычислений, а степень синхронизации между связанными системами, работающими в разных временных масштабах.

В конечном итоге, именно об этом и рассказывает эта книга: о синхронизации. В следующих главах задается вопрос, что бы значило вернуться в ритм — с солнцем, с биосферой, с временными масштабами живого мира.

ГЛАВА 19: ВОЗВРАЩЕНИЕ ДОМОЙ К СОЛНЦУ

С точки зрения этой книги, переход к солнечной энергии — это не просто смена топлива. Это изменение временного режима.

На протяжении двух столетий цивилизация функционировала за счет архивного времени — энергии из далекого прошлого, потребляемой в настоящем. Переход к солнечной энергии — это возвращение к настоящему времени: жизнь за счет энергии, поступающей сегодня от солнца, вместо того, чтобы использовать геологические сбережения. Это уменьшение коэффициента сжатия времени с миллиона до единицы.

Звучит просто. Но это не так.

Солнце поставляет на Землю невероятное количество энергии — примерно 174 петаватта, что примерно в десять тысяч раз превышает текущий мировой спрос на первичную энергию. С чисто количественной точки зрения, солнечной энергии очень много. Проблема не в количестве, а в качестве:

энергия поступает в виде рассеянной, прерывистой и неравномерно распределенной энергии.

Нефть очень плотная: в одном килограмме жидкости, которую можно залить в резервуар, содержится 45 мегаджоулей. Солнечное излучение на поверхности Земли в пиковый момент составляет около одного киловатта на квадратный метр — меньше, чем у бытового фена. Чтобы полностью заменить энергию, получаемую в настоящее время из ископаемого топлива, солнечной фотоэлектрической энергией при нынешней эффективности преобразования, потребуется покрыть панелями примерно полмиллиона квадратных километров поверхности Земли. Это территория размером примерно с Испанию — в принципе, осуществимо, но представляет собой качественное изменение пространственного охвата энергетической системы.

Что еще более важно, солнце не светит ночью, а зимой на высоких широтах светит слабо. Ископаемое топливо доступно по запросу: его сжигают, когда оно необходимо. Солнечную энергию нужно улавливать,

когда светит солнце, и хранить на случай, когда его нет. Проблема хранения — батареи, гидроаккумулирующие электростанции, водород, тепловая инерция — является критическим узким местом в переходе на солнечную энергию, и хотя технологии производства батарей быстро совершенствуются, а их стоимость снижается, задача сезонного хранения энергии для стран высоких широт остается сложной.

Однако последствия перехода на солнечную энергетику выходят далеко за рамки инженерии. Они затрагивают структуру управления, экономику и социальную организацию .

Рассмотрим гипотезу управления из главы 7. Если плотность энергии создает структурное давление в сторону централизации — потому что концентрированная энергия создает узкие места, а узкие места создают власть — то что произойдет, когда источник энергии будет распределен? Солнечный свет будет падать повсюду. Никто не сможет монополизировать его. Нет солнечных

трубопроводов, которые нужно контролировать, нет маршрутов солнечных танкеров, которые нужно патрулировать. Мир, питаемый солнечным светом, в структурном плане — это мир без энергетических узких мест.

Это не означает, что в мире нет концентрации энергии. Новые узкие места могут заменить старые: цепочки поставок лития, кобальта и редкоземельных элементов, необходимых для батарей и солнечных панелей, уже сосредоточены в небольшом количестве стран. Управление энергосетями — сложная задача балансирования спроса и предложения в электрической сети, питаемой источниками с переменной выработкой энергии, — может создать новые центры технического авторитета. Но фундаментальная структура изменилась. Энергия, получаемая из ископаемого топлива, поступает из нескольких точек во множество. Солнечная энергия поступает отовсюду во все точки. Политические последствия этих изменений непредсказуемы, но потенциально очень значительны.

Есть и экономические последствия. Предельные издержки солнечной энергии — стоимость производства одного дополнительного киловатт-часа после установки панелей — фактически равны нулю. Солнце ничего не берет в качестве платы. Это радикально отличается от ископаемого топлива, где предельные издержки определяются добычей, транспортировкой и переработкой. Энергетическая система с нулевыми предельными издержками ведет себя иначе, чем система с положительными предельными издержками: она отдает предпочтение изобилию, а не дефициту, распределенному производству, а не централизованному снабжению, и бросает вызов экономическим моделям, построенным на ценообразовании на сырьевые товары.

С точки зрения временного сжатия, солнечный переход представляет собой ресинхронизацию. Это возвращение от наследства к доходу, от геологического прошлого к метеорологическому настоящему. Это означает научиться жить в рамках энергетического баланса, который Солнце

обеспечивает в реальном времени — баланса огромного, но не безграничного, и требующего иного отношения к хранению, прерывистости и пространственному распределению энергии, чем это требовалось при использовании ископаемого топлива.

ли ресинхронизация без снижения сложности цивилизации, рассматривается в следующей главе. Это самый сложный вопрос, который задается в этой книге.

ГЛАВА 20: СМОЖЕМ ЛИ МЫ ВЫДЕРЖАТЬ ТАКУЮ СЛОЖНОСТЬ?

Вот вопрос, о котором никто в индустрии возобновляемой энергии не любит говорить.

Современный мир — с его восемью миллиардами человек, глобальными цепочками поставок, заводами по производству полупроводников, интенсивным сельским хозяйством, межконтинентальной авиацией, серверными фермами и спутниковыми сетями — был построен на необычайной плотности энергии и транспортабельности ископаемого топлива. Может ли такой уровень сложности поддерживаться источником энергии, который является рассредоточенным, непостоянным и который невозможно залить в резервуар?

Честный ответ: мы не знаем. И эта неопределенность заслуживает серьезного отношения, а не игнорирования как оптимистами, так и пессимистами.

Оптимистический сценарий выглядит убедительно. Стоимость солнечных панелей за

последнее десятилетие снизилась более чем на девяносто процентов. Стоимость аккумуляторов упала более чем на восемьдесят процентов. В большинстве стран ветровая энергия сейчас дешевле угля. Электромобили приближаются к ценовому паритету с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания. Технологическая траектория явно направлена к более дешевой, более эффективной и более доступной возобновляемой энергии. Если нынешние тенденции сохранятся, энергетический переход может происходить быстрее, чем ожидали даже его сторонники.

Однако пессимистический сценарий имеет структурный вес. Некоторые виды деятельности, имеющие центральное значение для современной цивилизации, чрезвычайно трудно электрифицировать. Производство стали, цемента и химический синтез — на которые в совокупности приходится значительная часть промышленного энергопотребления — требуют очень высоких температур или специфического химического сырья,

которое в настоящее время получают из ископаемого топлива. Дальняя авиация и контейнерные перевозки зависят от энергетической плотности жидкого топлива; ни одна из разработанных до сих пор батарей не может сравниться с керосином по соотношению энергии на килограмм.

Сельское хозяйство представляет собой особенно сложную задачу. Зеленая революция, которая увеличила мировое производство продуктов питания настолько, что хватило бы на восемь миллиардов человек, была построена на трех столпах, все из которых зависят от ископаемого топлива: синтетические удобрения (производимые с использованием природного газа), механизированное земледелие (работающее на дизельном топливе) и глобальное распределение продуктов питания (работающие на дизельном топливе и бункерном топливе). Система сельского хозяйства, работающая на солнечной энергии, должна была бы одновременно заменить все три столпа, что в некоторых случаях осуществимо (электрические тракторы, производство

удобрений на солнечной энергии), но далеко не просто в других (дальняя транспортировка продуктов питания без использования жидкого топлива).

Историк Джозеф Тейнтер утверждал, что цивилизации рушатся, когда предельная отдача от инвестиций в усложнение снижается — когда затраты на поддержание системы превышают ее производительность. Если переход от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии увеличивает стоимость поддержания существующей сложности — поскольку возобновляемая энергия менее плотная, менее транспортабельная и менее доступная по запросу — тогда может применяться механизм Тейнтера. Цивилизации, возможно, потребуется упроститься: сократить протяженность цепочек поставок, плотность населения, логистические возможности, материальные потоки.

Это не обязательно катастрофа. Упрощение может быть изящным. Цивилизация, которая производит меньше пластикового мусора, совершает меньше бессмысленных перелетов и потребляет

больше местной пищи, во многих отношениях может быть лучше — более здоровой, более устойчивой, более связанной с ритмами природного мира. Но это будет другая цивилизация. И переход от того, что у нас есть, к тому, что будет дальше, — это опасная часть.

Существует технологический козырь: орбитальная солнечная энергетика. Солнечные панели на геостационарной орбите получали бы непрерывный солнечный свет — без ночей, облаков и смены времен года. Энергия могла бы передаваться на Землю в виде микроволн и преобразовываться в электричество. Это обеспечило бы солнечную энергию без проблем с нестабильностью, характерных для наземных установок, с плотностью энергии, сравнимой с ископаемым топливом.

Орбитальная солнечная энергия, если говорить языком этой книги, позволила бы достичь ресинхронизации без каких-либо жертв: коэффициент временного сжатия, равный единице (текущий солнечный свет, а не архивный солнечный

свет), с плотностью энергии, достаточно высокой для поддержания текущей сложности. Это разрешило бы основное противоречие концепции временного сжатия — несоответствие между архивной энергией и энергией в реальном времени — без необходимости масштабирования цивилизации.

Однако орбитальная солнечная энергетика пока не существует в масштабах, соответствующих современным требованиям, и ее разработка потребует капиталовложений и инженерных разработок, которые в настоящее время недоступны ни одной национальной или международной программе. Это остается лишь возможностью, а не планом.

Вопрос о том, можно ли сохранить сложность в процессе энергетического перехода, в конечном итоге носит эмпирический характер. На него ответят инженеры, политики и рынки в ближайшие десятилетия, а не теоретики. Концепция временного сжатия не предсказывает ответ. Она проясняет суть проблемы: если ресинхронизация требует снижения сложности, переход будет болезненным. Если нет,

переход может быть плавным. Разница зависит от технологий, институтов и решений, которые еще не были приняты.

ГЛАВА 21: УГЛЕРОДНАЯ ФАЗА

Давайте на мгновение задумаемся о цивилизациях, отличных от нашей.

Я имею в виду не исторические цивилизации — мы их уже обсуждали. Я имею в виду гипотетические цивилизации: разумные виды на других планетах, вращающиеся вокруг других звёзд, в других частях галактики. Если такие цивилизации существуют — а цифры говорят об обратном, учитывая сотни миллиардов звёзд только в Млечном пути, многие из которых имеют планетные системы, — сталкиваются ли они с той же проблемой, что и мы? Является ли сжатие времени локальной особенностью Земли или это общий этап в развитии технологических цивилизаций?

Концепция временного сжатия предлагает тревожный ответ: она может быть универсальной.

Аргумент звучит так. Для развития передовых технологий — производства полупроводников, космических полетов, ядерной энергетики,

современных материалов — цивилизации необходим доступ к концентрированной энергии высокой плотности в промышленных масштабах. Солнечная энергия на поверхности планеты рассеяна: в лучшем случае это примерно один киловатт на квадратный метр. Для того чтобы с нуля создать индустриальную цивилизацию — плавить металлы, обжигать керамику, вырабатывать электричество, строить первые генераторы и первые лаборатории — необходима концентрированная энергия, которую можно использовать по мере необходимости, а не прерывистая энергия, которую нужно хранить.

Ископаемое топливо обеспечивает именно это. Оно концентрировано, портативно, имеет высокую плотность и доступно по запросу. Для его использования на базовом уровне не требуется никакой предварительной инфраструктуры — уголь можно сжигать в печи, используя лишь дымоход. И оно существует на любой планете с богатой углеродом биосферой, которая достаточно долго оставалась продуктивной: фотосинтезирующие

организмы производят биомассу, биомасса захоранивается, а захоронение и нагрев приводят к образованию углеводов.

Это позволяет предположить, что фаза ускоренного развития за счет углерода — период, в течение которого цивилизация использует свои запасы ископаемого топлива для запуска индустриализации — может быть распространенной стадией развития технологических цивилизаций, возникающих на планетах земной группы. Это не единственная возможная стадия — цивилизация на вулканически активном мире может начать развитие за счет геотермальной энергии, а цивилизация на планете с сильными приливными силами от близлежащего спутника может использовать энергию приливов. Но ископаемое топливо представляет собой особенно доступный и мощный путь развития.

Если это верно, то это имеет поразительное значение для парадокса Ферми: загадка того, почему, если Вселенная полна звезд и планет, мы не

обнаружили никаких свидетельств существования других технологически развитых цивилизаций.

Концепция временного сжатия добавляет фильтр к стандартному каталогу объяснений. Цивилизация, эксплуатирующая ископаемое топливо, должна пройти три этапа: она должна найти ископаемое топливо (для этого необходима планета с биосферой, которая была продуктивна в течение сотен миллионов лет, с подходящими геологическими условиями для захоронения, созревания и улавливания); она должна пережить фазу ускоренного роста углерода (которая, как мы видели, приближает связанную систему биосфера-цивилизация к границе ее жизнеспособности); и она должна перейти к пост-углеродной энергетической системе, прежде чем пересечь эту границу.

Неудача на любом этапе прерывает технологическую траекторию. Первый этап — геологический фильтр: не на всех планетах с биосферами есть доступные месторождения ископаемого топлива. Второй этап — фильтр,

созданный самими цивилизацией: тот же источник энергии, который обеспечивает технологическое развитие, также дестабилизирует биосферные условия, от которых зависит цивилизация. Третий этап — гонка: сможет ли цивилизация достаточно быстро разработать пост-углеродные энергетические технологии, чтобы избежать кризиса жизнеспособности, который создало её собственное энергопотребление?

Это термодинамическая версия фильтра «самоуничтожения», предложенного многими в качестве ответа на парадокс Ферми. Но она существенно отличается от обычной версии. Обычный фильтр самоуничтожения задействует психологию: цивилизации уничтожают себя, потому что они иррациональны, агрессивны или недалёковидны. Фильтр временного сжатия носит структурный характер: цивилизации сталкиваются с проблемами не потому, что они глупы, а потому, что физика сгорания ископаемого топлива создает кризис жизнеспособности, который действительно трудно

преодолеть даже мудрому и хорошо управляемому виду.

Вывод отрезвляет. Если фильтр временного сжатия реален, то отсутствие обнаруженных внеземных цивилизаций может отражать не редкость разума, а сложность выживания в фазе ускоренного развития углерода. Вселенная может быть полна планет, на которых когда-то существовали технологически развитые цивилизации — кратковременные проблески промышленности и связи, питавшиеся ископаемым топливом, которые исчезли, когда была пересечена граница жизнеспособности.

Присоединится ли наша цивилизация к этому гипотетическому населению или успешно преодолеет этот переходный период — об этом пойдет речь в следующих и заключительных главах.

ГЛАВА 22: ЖИЗНЬ НА МАРСЕ И ВЛИЯНИЕ НЕФТИ

В 2018 году марсоход НАСА «Кьюриосити», ползущий по дну кратера Гейл на Марсе, обнаружил органические молекулы в аргиллитах возрастом три миллиарда лет.

Это открытие попало в заголовки газет, и заголовки были тщательно продуманы. Органические молекулы не доказывают существование жизни. Они могут образовываться в результате абиотических химических реакций — воздействия ультрафиолетового излучения на простые углеродные соединения, метеоритной доставки органических веществ из космоса, реакций серпентинизации, в которых вода и горные породы образуют углеводороды без участия биологических факторов. Молекулы, обнаруженные «Кьюриосити», были реальными, но их происхождение оставалось неясным.

В 2023 году марсоход Perseverance, исследуя кратер Езеро — высохшее дно озера, выбранное именно потому, что оно могло сохранить признаки

древней жизни, — обнаружил в породах разнообразные органическо-минеральные ассоциации. Результаты снова соответствовали биологическим механизмам, но не требовали их подтверждения. Между тем, измерения атмосферного метана на Марсе показали интригующие сезонные колебания, которые трудно объяснить чисто геологическими механизмами, хотя и не невозможно.

Эти открытия интригуют . Но с точки зрения этой книги, интересен не сам вопрос. Интересен вопрос: что бы это значило, если бы кто-то обнаружил *нефть* на Марсе?

Это не так уж и невероятно, как кажется. Если на Марсе когда-либо существовала продуктивная биосфера — мир микробов, возможно, процветавший в древних озерах и мелководных морях в более теплое и влажное прошлое планеты, — и если эта биосфера существовала в течение десятков или сотен миллионов лет, и если производимое ею органическое вещество было погребено в бескислородных отложениях и подвергалось достаточному нагреву и

давлению, то основные ингредиенты для образования нефти присутствовали. На Марсе есть осадочные бассейны. Там была вода. Возможно, там была жизнь. Вопрос в том, существовали ли все три фактора достаточно долго.

Обнаружение на Марсе углеводородов, подобных нефти — не следовых количеств органических веществ, а значительного запаса сложных углеводородов, соответствующих биологическому исходному материалу, — стало бы важнейшим биологическим открытием в истории науки. Не из-за самих углеводородов, а из-за того, что они подразумевали бы. Образование нефти требует *устойчивой, крупномасштабной биологической продуктивности* в течение геологических временных масштабов. Несколько случайных органических молекул могут быть образованы химическими процессами. Нефтяное месторождение требует наличия экосистемы.

Концепция сжатия времени естественным образом порождает это предсказание. Нефть — это

сжатое время, а точнее, сжатое биологическое время. Её существование на планете свидетельствует о том, что когда-то на планете существовала достаточно продуктивная и долгоживущая биосфера, способная генерировать, захоронять и преобразовывать огромные количества органического вещества. Нефть — это не просто ресурс; это биосферная сигнатура, записанная в углеводородах.

Если биогенная теория нефти верна — а на Земле научные данные её неопровержимо подтверждают — то нефть является окаменелостью в самом глубоком смысле этого слова. Не окаменелостью отдельного организма, а окаменелостью целой экосистемы: результатом миллионов лет фотосинтеза, смерти, захоронения и трансформации. Обнаружение её на Марсе означало бы, что Марс был не просто обитаемым, но и населённым — и населённым продуктивно на протяжении геологических периодов времени.

И наоборот, отсутствие нефти на Марсе согласуется либо с абиотическим происхождением

(отсутствие биосферы, способной её произвести), либо с недостаточной продолжительностью существования (биосфера существовала, но слишком быстро погибла), либо с неблагоприятными геологическими условиями (органическое вещество образовалось и было захоронено, но так и не достигло температурного диапазона для катагенеза). Отрицательный результат был бы менее информативным, но положительный результат стал бы революционным.

Здесь кроется ирония, которую подчеркивает данная концепция. На Земле нефть стала причиной разрушения биосферы — сжатое время, высвобождение которого приближает связанную систему к пределу ее жизнеспособности. На Марсе то же самое вещество стало бы самым убедительным доказательством того, что планета когда-то обладала той самой живой системой, которую нефть на Земле дестабилизирует. То, что разрушает одну биосферу, доказывает существование другой.

ГЛАВА 23: ГОНКА НАПЕРЕГОНКИ С ГРАНИЦЕЙ

Давайте подведем итоги.

В предыдущих главах мы разработали концептуальную основу — способ восприятия — который начинается с простого наблюдения (нефть — это сжатое время) и прослеживает его последствия в контексте роста, управления, геополитики, отходов, экологии, технологий и даже астробиологии. Эта концептуальная основа не предсказывает будущее. Она выявляет структурное противоречие и задает вопрос, будет ли это противоречие разрешено.

Суть противоречия заключается в следующем: скорость, с которой взаимосвязанная система биосфера-цивилизация приближается к границе своей общей жизнеспособности, и скорость, с которой цивилизация адаптирует свои энергетические системы и институты, чтобы избежать пересечения этой границы.

Давайте рассмотрим обе стороны этой гонки.

С точки зрения подхода, показатели вызывают беспокойство. Глобальное потребление ископаемого топлива еще не достигло пика в абсолютном выражении. Несмотря на быстрый рост возобновляемой энергетики, использование нефти и газа продолжает расти, чему способствуют экономический рост в Азии, Африке и Латинской Америке. Концентрация углекислого газа в атмосфере продолжает увеличиваться из года в год. Океаны нагреваются, закисляются и теряют кислород. Биологическое разнообразие сокращается темпами, которые, по оценкам, в сто-тысячу раз превышают естественный фоновый уровень. Несколько планетарных границ, определенных учеными, изучающими систему Земли, уже преодолены.

Более того, климатическая система обладает инерцией. Даже если использование ископаемого топлива начнет сокращаться завтра, углерод, уже находящийся в атмосфере, будет продолжать влиять на климат на протяжении столетий. Ледяные щиты

реагируют в масштабах столетий и тысячелетий. Глубоководная циркуляция океана завершает цикл за тысячу лет. Независимо от того, что мы делаем сейчас, мы обречены на определенное потепление в будущем. Вопрос в том, какое дополнительное потепление мы добавим к этому обязательству.

Что касается адаптации, показатели действительно обнадеживают. Стоимость солнечной электроэнергии снизилась более чем на девяносто процентов с 2010 года. Ветровая энергия конкурентоспособна по стоимости с ископаемым топливом на большинстве рынков. Продажи электромобилей растут экспоненциально — от незначительной доли рынка десять лет назад до более чем пятнадцати процентов от продаж новых автомобилей в мире. Стоимость систем хранения энергии снизилась более чем на восемьдесят процентов. Правительства по всему миру установили цели по достижению нулевых выбросов, и хотя разрыв между целями и действиями остается большим, направление движения очевидно.

Глобальный рост населения замедляется. По прогнозам Организации Объединенных Наций, к концу столетия численность населения мира стабилизируется на уровне около десяти-одиннадцати миллиардов человек — это все еще огромная цифра, но далеко от безудержного экспоненциального роста, которого опасались более ранние прогнозы. Урбанизация, образование (особенно женщин) и доступ к контрацепции приводят к снижению рождаемости в развивающихся странах. Демографический переход, если он будет протекать так, как прогнозируется, устранил один из главных факторов роста спроса на энергию.

В некоторых регионах уже демонстрируется, как может выглядеть энергетическая система после отказа от углеродных технологий. Дания производит более половины своей электроэнергии за счет ветровой энергии. Коста-Рика регулярно использует в своей энергосистеме почти сто процентов возобновляемых источников энергии. Исландия построила индустриальную экономику на основе

геотермальной энергии. Шотландия, Португалия и Уругвай достигли периодов, когда производство электроэнергии полностью осуществлялось за счет возобновляемых источников.

Эти примеры реальны и важны. Но они пока незначительны в глобальном масштабе. Мир по-прежнему получает примерно восемьдесят процентов своей первичной энергии из ископаемого топлива. Инфраструктура, обеспечивающая эту энергию — скважины, трубопроводы, нефтеперерабатывающие заводы, суда, электростанции, печи и транспортные средства — представляет собой инвестиции колоссальных масштабов, рассчитанные на десятилетия эксплуатации. Замена этой инфраструктуры — не задача на выходные.

Концепция временного сжатия точно описывает эту гонку. Критическая скорость адаптации — назовем ее мю-звездой — это минимальная скорость, с которой должен происходить энергетический переход, чтобы система оставалась в пределах допустимого диапазона жизнеспособности.

Фактическая скорость адаптации — назовем ее μ — это то, что мы наблюдаем в реальном мире. Если μ превышает μ -звезду, мы достигаем цели. Если нет, мы приближаемся к границе и сталкиваемся с последствиями, описанными в предыдущих главах: критическое замедление, увеличение изменчивости, потенциальное пересечение пороговых значений.

Никто не знает точного значения μ -звезды. Оно зависит от оставшегося углеродного бюджета (который, в свою очередь, зависит от того, насколько сильное потепление мы готовы допустить), инерции климатической системы, устойчивости экосистем и способности институтов управлять переходным процессом. Это эмпирические вопросы с неопределенными ответами. Предлагаемая концептуальная модель дает не ответ, а правильный вопрос: не «произойдет ли переход?» (мы почти наверняка пройдем его, в конечном итоге), а «произойдет ли переход достаточно быстро?»

Разница между этими двумя вопросами — это разница между оптимизмом и благоразумием.

Оптимизм говорит: тенденции хорошие, технологии совершенствуются, переход происходит. Благоразумие говорит: тенденции хорошие, но сроки сжатые, инерция реальна, а последствия слишком медленной адаптации серьезны и потенциально необратимы. Обе позиции оправданы. Данная концепция советует проявлять благоразумие не потому, что предсказывает катастрофу, а потому, что асимметрия последствий очевидна: если мы адаптируемся слишком быстро, худшее, что может случиться, — это то, что мы потратим деньги, которые нам не были нужны. Если мы адаптируемся слишком медленно, худшее, что может случиться, — это то, что мы пересечем границу, из которой нет легкого возврата.

ГЛАВА 24: ПИСЬМО В БУДУЩЕЕ

Где-то в осадочных породах Земли пишется наше столетие.

Не словами — геологическая летопись не сохраняет слова. Она сохраняет химию. Она сохраняет изотопы. Она сохраняет физические следы того, что цивилизация сделала со своим временем и энергией. И то, что она зафиксирует для нашей эпохи, — это аномалия: тонкий, глобально распространенный слой новых материалов — пластмасс, радионуклидов, летучей золы, экзотических сплавов — зажатый между обычными отложениями геологического времени.

Этот слой расскажет историю, если кто-нибудь когда-нибудь до неё дойдёт. История будет примерно такой.

Вид приматов, обитавший на небольшой каменистой планете в ничем не примечательной солнечной системе, обнаружил, что камни под его ногами содержат концентрированную энергию

солнечных лучей, накопленную за сотни миллионов лет. Этот вид извлек эту энергию и использовал её для преобразования поверхности своей планеты быстрее, чем любой геологический процесс в истории планеты. За два столетия — геологический миг — он изменил состав атмосферы, температуру океанов, распределение видов и химический состав осадочных пород. Он построил сооружения, видимые с орбиты. Он расщепил атом. Он начал исследовать соседние миры. Он сгенерировал за одно десятилетие больше информации, чем все предыдущие цивилизации вместе взятые.

А потом — что дальше?

Здесь история становится неопределённой, потому что мы живём в её эпицентре. Слой всё ещё формируется. Глава всё ещё пишется. Вопрос о том, удалось ли виду осуществить переход от архивной энергии к современной — от сжатого времени к реальному времени — или же оно исчерпало своё наследие и рухнуло, до сих пор остаётся без ответа.

В этой книге я старался избегать как оптимизма, так и пессимизма, поскольку и то, и другое — это предсказания, а предсказания относительно сложных систем ненадежны. Вместо этого я предложил концептуальную основу — способ осмысления взаимосвязи между энергией, временем и цивилизацией, который позволяет выявить определенные закономерности и обострить некоторые вопросы.

В рамках этой концепции говорится: нефть — это сжатое время. Коэффициент временного сжатия составляет миллион к одному. Это несоответствие имеет структурные последствия — для роста, управления, геополитики, отходов и стабильности биосферы. Переход к солнечной энергии — это ресинхронизация, возвращение к временному ритму живого мира. Будет ли этот переход достаточно быстрым — это эмпирический вопрос, зависящий от решений, которые еще предстоит принять.

Данная схема не указывает нам, что делать. Она описывает ситуацию. А четкое понимание ситуации,

на мой взгляд, является необходимым условием для мудрых действий.

Мой дед, Борис Берсон, всю свою жизнь посвятил энергетической системе — он топил угольные печи на пароходе, следовавшем в Константинополь, строил энергетические системы на румынском нефтеперерабатывающем заводе, летал над трубопроводами на биплане, обучал военных вдов работе на турбинах в черноморском нефтяном городке. У него не было готовой системы для всего этого. У него были руки, навыки и та спокойная компетентность, которая позволяет добиваться результатов, не прибегая к теоретическим рассуждениям.

Но он жил в определенный момент истории сжатия времени — в середине второй фазы, фазы ускоренного выбросов углерода, когда поток выбросов был в полную силу, а последствия — это уже чья-то другая проблема. Мы живем в другой момент: в момент, когда последствия уже наступили и должен начаться переход.

Полный технический аргумент — с его уравнениями, множествами жизнеспособности, критическими скоростями извлечения и гипотезами бифуркации — доступен в Приложении. Я призываю любопытного читателя ознакомиться с ним. Я надеюсь, это самая строгая версия аргумента, которую я могу привести. Но суть проще любого уравнения.

Мы жили за счёт древнего солнечного света. Древний солнечный свет иссякает — или, скорее, иссякает способность планеты выдерживать его воздействие. Нам нужно научиться жить за счёт современного солнечного света. Переход от древнего к современному — это главная задача нашего столетия. И скорость этого перехода имеет решающее значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Позвольте мне как можно проще рассказать, чего пыталась достичь эта книга.

Мы начали со спички. Вы её зажигаете, и солнечный свет, упавший на болото каменноугольного периода триста миллионов лет назад, на мгновение вспыхивает, согревает ваши кончики пальцев и исчезает, превращаясь в тепло и углекислый газ. Эта транзакция — геологическое терпение, превращенное в мимолетное пламя — является центральным образом этой книги, и я попытался показать, что она не просто поэтична, но и структурна. Весь современный мир построен на этой транзакции, повторяющейся триллионы раз в день, с совокупной скоростью примерно в миллион раз превышающей скорость, с которой энергия была первоначально накоплена.

Мы видим, что это временное несоответствие — это соотношение миллион к одному — не является числом, существующим изолированно. Оно влечет за собой последствия, подобно тому как комета тянет за

собой хвост. Оно обеспечивает экспоненциальный рост, пробивая потолок солнечного потока, который ограничивал каждую предыдущую цивилизацию. Оно создает структурное давление в сторону централизованного управления, потому что концентрированная энергия создает узкие места, а узкие места создают власть. Оно порождает геополитический порядок, в котором одни регионы обеспечивают сжатое время, а другие его потребляют, и регионы-поставщики вознаграждаются ресурсным проклятием — богатством без институционального развития, доходами без подотчетности. Оно создает потребительскую экономику, в которой самая древняя и незаменимая энергия на Земле с поразительной эффективностью преобразуется в объекты, которые используются в течение десяти минут и сохраняются в виде отходов в течение тысячи лет.

Мы также убедились, что эта концепция выходит за рамки нефти. Ядерное деление — это сжатие времени в масштабах звёзд: энергия от сверхновых

пяти миллиардов лет назад высвобождается за миллисекунды, оставляя отходы, которые необходимо охранять в течение ста тысяч лет. Виртуализация может дематериализовать некоторые виды нашей деятельности, но она вносит новое временное несоответствие: принятие решений со скоростью вычислений, управление миром, который реагирует со скоростью экологии. Солнечная энергия представляет собой возвращение к синхронности — жизнь на сегодняшние доходы, а не трата древнего наследия, — но сможет ли солнечная цивилизация поддерживать сложность, созданную нефтяной эпохой, — это открытый и тревожный вопрос.

На протяжении всего исследования я старался разделять две вещи, которые часто переплетаются: термодинамические наблюдения и моральные суждения. Концепция временного сжатия — это способ описания структуры использования энергии, а не способ её осуждения. Вопрос о том, *следовало ли нам сжечь архив*, — это вопрос для философов и избирателей. То, что мы его *сожгли*, и что это

сожжение имело структурные последствия, вытекающие из физики временного несоответствия, — вот что утверждает эта концепция, и я считаю, что это утверждение само по себе обосновано.

Данная концепция не предсказывает катастрофу. Она выявляет противоречие: скорость, с которой мы приближаемся к границе возможностей биосферы, и скорость, с которой мы адаптируем наши энергетические системы, институты и ожидания. Если вторая скорость превышает первую, всё в порядке. Если нет, то всё плохо. Концепция уточняет вопрос, но не даёт на него ответа.

Мой дед всю свою жизнь проработал в энергетической системе — топил печи, управлял турбинами, составлял карты трубопроводов. Он возвращался домой весь в нефти. Он строил нефтяные месторождения, а затем помогал их разрушать. Он обучал военных вдов и подростков искусству работы с паровой энергией, и никогда об этом не рассказывал.

В каком-то смысле мы все покрыты нефтью. Она содержится в пластике наших клавиатур, в топливе, которое перевозило нашу еду через океан, в асфальте под нашими ногами. Вопрос не в том, можем ли мы смыть её — мы не можем, не полностью, пока нет. Вопрос в том, сможем ли мы со временем научиться жить со скоростью, которую может выдержать живой мир.

Полный технический аргумент, включая уравнения, формальные доказательства и ссылки, включен в качестве приложения к этой книге. Я призываю любознательного читателя ознакомиться с ним — не потому, что математика необходима для понимания, а потому, что он показывает, что идеи, представленные здесь в историях и метафорах, также выдерживают формальную проверку. Статья находится в свободном доступе в приложении к этой книге и по адресу <https://doi.org/10.5281/zenodo.18673740>

Ресинхронизация . Вот это слово. Не отступление, не жертва, не гибель. Ресинхронизация : научиться

согласовывать ритм нашей цивилизации с ритмом планеты, которая её поддерживает.

ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ

Теория абиотического происхождения: гипотеза о том, что нефть образуется в результате небиологических химических реакций в глубинах Земли, а не в результате деятельности древних организмов. Большинство доказательств подтверждают биологическое происхождение, но дискуссия продолжается.

Скорость поглощения — это скорость, с которой биосфера может поглощать и перерабатывать вещество, особенно углекислый газ. Когда выбросы превышают эту скорость, избыток накапливается.

Антропоцен — предлагаемая геологическая эпоха, определяемая измеримым воздействием человечества на геологию и экосистемы Земли. Официально ещё не признана, но широко используется.

Архивированная энергия — это энергия, запасенная в ископаемом топливе и накопленная за геологическое время. Она отличается от энергии текущего состояния, которая поступает от Солнца в реальном времени.

Атмосфера — это слой газов, окружающих Землю, включающий азот, кислород, а также следовые количества углекислого газа и метана.

Бифуркация — это точка в поведении системы, где небольшое изменение условий может вызвать резкое изменение результата, подобно тому как река достигает развилки.

Биомаркер — это молекулярная окаменелость, химическое соединение, обнаруженное в нефти или осадочных породах, которое сохраняет структурные особенности живого организма, его образовавшего.

Биомасса — это органический материал, полученный из живых или недавно живших организмов и используемый в качестве источника энергии. Древесина, отходы растениеводства и навоз животных — всё это относится к биомассе.

Биосфера — это совокупность всех живых существ на Земле и среды их обитания — от глубоководных гидротермальных источников до верхних слоев атмосферы.

Битуминозные пески — это залежи песка, смешанного с тяжёлой, смолоподобной формой нефти, называемой битумом. Добыча нефти из них требует гораздо больше энергии, чем традиционное бурение.

Покрывающая порода — непроницаемый слой породы, который задерживает нефть, предотвращая ее дальнейшее продвижение вверх.

Круговорот углерода — непрерывное движение атомов углерода между атмосферой, океанами, почвой, живыми организмами и геологическими отложениями.

Углекислый газ (CO₂) — газ, образующийся при сжигании углеродсодержащего топлива. Является естественным компонентом атмосферы, но его растущая концентрация приводит к потеплению климата.

Фаза углеродного ускорения — период (примерно с 1800 года по настоящее время), в течение которого энергетические ресурсы цивилизации значительно превышают возможности нынешнего солнечного потока, поддерживаемого сжиганием ископаемого топлива.

Емкость среды — это максимальная численность популяции, которую среда может поддерживать неограниченно долго, учитывая имеющиеся ресурсы.

Катагенез — геологический процесс, в результате которого кероген под воздействием тепла и давления в течение миллионов лет превращается в жидкую нефть и природный газ.

Централизация Концентрация власти, принимающей решения, в руках небольшого числа учреждений или отдельных лиц. В книге утверждается, что концентрированные источники

энергии создают структурное давление в сторону централизованного управления.

Узкое место — это узкий проход или контрольная точка, через которую должны проходить ресурсы. Трубопроводы, судоходные пути и нефтеперерабатывающие заводы являются энергетическими узкими местами.

Набор условий жизнеспособности цивилизации — диапазон условий (энергоснабжение, институциональная стабильность, численность населения), в рамках которых цивилизация может поддерживать свою жизнеспособность.

Климатическая инерция — это тенденция климатической системы продолжать изменяться в течение десятилетий после того, как силы, вызывающие эти изменения, перестают действовать, из-за медленной реакции океанов и ледяных щитов.

Уголь — твёрдое ископаемое топливо, образовавшееся из древней наземной растительной материи. Имеет более низкий коэффициент сжатия во времени, чем нефть (примерно в 100 000 раз больше, чем нефть).

под сложностью понимается степень организационной сложности цивилизации: количество специализированных ролей, институтов, технологий и взаимозависимостей.

Несоответствие контура управления: ситуация, когда система, принимающая решения, работает с совершенно иной скоростью, чем система, на которую эти решения влияют.

Взаимосвязанная система: две или более системы, влияющие друг на друга. Биосфера и цивилизация взаимосвязаны: каждая влияет на траекторию развития другой.

Критическая скорость — это минимальная скорость адаптации, необходимая для того, чтобы не пересечь границу жизнеспособности. Если цивилизация адаптируется медленнее, чем эта скорость, она находится в структурной опасности.

Критический переход — внезапное, часто необратимое изменение состояния системы, например, переход озера из прозрачного в мутное или обрушение ледяного покрова.

Сырая нефть — это неочищенная нефть, добываемая из земли: сложная смесь углеводородов с различной молекулярной массой.

Децентрализация Распределение власти, ресурсов или принятия решений между множеством субъектов, а не их концентрация в руках немногих. Солнечная энергия структурно способствует этому.

Коэффициент «решение-реакция» — это отношение временного масштаба, в котором

управляемая система реагирует, к временному масштабу, в котором принимаются решения. Высокий коэффициент свидетельствует о временном несоответствии.

Дематериализация Сокращение материальных и энергетических затрат на единицу экономической продукции. Примером тому служит цифровая связь.

Диогенез — ранняя стадия образования нефти, на которой недавно захороненное органическое вещество медленно превращается в кероген под воздействием умеренного тепла и давления.

Уравнение Дрейка — формула для оценки количества цивилизаций, поддерживающих связь друг с другом, в галактике, основанная на таких факторах, как скорость звездообразования и вероятность существования жизни.

«Голландская болезнь» — это экономическое явление, при котором бум в одном секторе (как правило, в добыче ресурсов) наносит ущерб другим секторам, повышая издержки и укрепляя валюту.

Сигналы раннего предупреждения: статистические закономерности — увеличение дисперсии, замедление восстановления после возмущений — указывающие на то, что система приближается к критическому переходу.

Экология — это наука, изучающая взаимодействие организмов друг с другом и с окружающей их физической средой.

Эффективность — это отношение полезного результата к общему объему затрат. Более высокая эффективность означает меньше отходов, но парадокс Джевонса показывает, что она может увеличить общее потребление.

Скорость выбросов — это скорость, с которой парниковые газы выбрасываются в атмосферу, обычно измеряемая в гигатоннах CO₂ в год.

Плотность энергии — количество энергии, запасенной на единицу массы или объема. Нефть обладает очень высокой плотностью энергии; солнечный свет на поверхности Земли имеет низкую плотность.

Энергетическая отдача от инвестиций (EROI) — это отношение энергии, производимой источником, к энергии, необходимой для его добычи. Традиционная нефть: ~50:1. Битуминозные пески: ~5:1.

Энергетический поток — это общая скорость потока энергии через систему, цивилизационный эквивалент скорости метаболизма.

Энтропия — мера беспорядка или случайности. Второй закон термодинамики гласит, что энтропия всегда возрастает в замкнутой системе. Отходы

обладают высокой энтропией; топливо — низкой энтропией.

Экспоненциальный рост. Рост, который накапливается — каждый период добавляет определенный процент от текущего общего показателя, что приводит к ускорению. Население и ВВП росли примерно экспоненциально с 1800 года.

Внешнее размещение Перекладывание издержек, связанных с какой-либо деятельностью, на кого-то другого — на другой регион, другое поколение или окружающую среду.

Скорость добычи — это скорость, с которой ископаемое топливо извлекается из земли, обычно измеряемая в баррелях в сутки для нефти.

рамках экспериментов FACE (Free-Air CO₂ Enrichment studies) на открытых участках проводилось исследование влияния повышенной концентрации CO₂ на рост растений в реальных условиях. Результаты показывают убывающую отдачу.

Парадокс Ферми: противоречие между кажущейся вероятностью существования внеземных цивилизаций и отсутствием доказательств их существования.

Ископаемое топливо. Любое топливо, образовавшееся из остатков древних организмов:

уголь, нефть и природный газ. Все они представляют собой накопленную солнечную энергию.

Гидравлический разрыв пласта (фрекинг) — это технология извлечения нефти и газа из сланцевых пород путем закачки жидкости под высоким давлением для создания трещин.

Геополитика: Влияние географии, ресурсов и территориального контроля на международную политику и власть.

Зона Златовласки — диапазон условий, идеально подходящий для достижения определенного результата; здесь он используется для обозначения температурного диапазона, в котором образуется нефть.

Управление — это структуры и процессы, посредством которых общества принимают коллективные решения и обеспечивают соблюдение правил.

Отличный фильтр. Гипотеза о том, что какой-то этап на пути от простой материи к межзвездной цивилизации, крайне маловероятна, что объясняет, почему мы не видим инопланетных цивилизаций.

Парниковый эффект — это удержание тепла в атмосфере газами (CO₂, метаном и т. д.), которые пропускают солнечный свет, но поглощают исходящее инфракрасное излучение.

Горизонтальное бурение — это технология, позволяющая скважине поворачивать вбок под землей, обеспечивая доступ к нефти на гораздо большей площади из одной точки на поверхности.

Углеводород — молекула, состоящая исключительно из атомов водорода и углерода. Нефть — это смесь углеводородов.

Промышленная революция — переход от аграрной экономики к промышленному производству, начавшийся в Великобритании около 1760 года и обусловленный развитием угольной, а позже и нефтяной промышленности.

Инфраструктура — это физические системы, поддерживающие цивилизацию: дороги, мосты, электросети, трубопроводы, порты и сети связи.

Институциональное развитие — это постепенное создание эффективных структур управления, правовых систем и социальных норм, поддерживающих экономическое и социальное функционирование.

Парадокс Джевонса : наблюдение, что повышение эффективности часто приводит к увеличению общего потребления, поскольку деятельность становится дешевле и привлекательнее.

Совместное множество жизнеспособности.
Пересечение множеств жизнеспособности биосферы

и цивилизации — условий, при которых они могут существовать одновременно.

Кероген — воскообразное, нерастворимое органическое вещество, содержащееся в осадочных породах, — предшественник нефти, образующийся в процессе диагенеза.

Кинетическая энергия — это энергия движения: ветер, текущая вода и движущиеся транспортные средства обладают кинетической энергией.

Закон минимума Либига: принцип, согласно которому рост ограничивается не общими ресурсами, а наиболее дефицитным ресурсом. Растениям необходимы CO_2 , вода, азот и свет; предел определяется тем, какого ресурса меньше всего.

Метан — парниковый газ (CH_4), обладающий гораздо более сильным кратковременным эффектом глобального потепления, чем CO_2 . Образуется в результате добычи природного газа, сельского хозяйства и разложения органических веществ.

Миграция (нефть) — перемещение нефти из материнской породы, где она образовалась, в коллекторскую породу, где она накапливается, под действием давления.

Природный газ — ископаемое топливо, состоящее преимущественно из метана, часто встречающееся рядом с месторождениями нефти.

Нео-экстрактивизм — Модель эксплуатации ресурсов, при которой внешние державы поддерживают благоприятные условия добычи посредством политического влияния, а не прямого колониального правления.

Неравновесная термодинамика — это наука об изучении потоков энергии в системах, не находящихся в установившемся состоянии, включая все живые системы и цивилизации.

Ядерное деление — расщепление ядер тяжелых атомов (урана, плутония) с высвобождением огромного количества энергии. Коэффициент сжатия во времени: приблизительно десять миллиардов к одному.

Термоядерный синтез — это соединение лёгких атомных ядер (водорода) с образованием более тяжёлых, высвобождающее энергию. Он питает Солнце. Пока ещё не реализован в качестве практического источника энергии на Земле.

Запланированное устаревание — это преднамеренное проектирование продукции с ограниченным сроком службы, обеспечивающее постоянный потребительский спрос на замену.

Орбитальная солнечная энергетика — это концепция сбора солнечной энергии в космосе, где

нет атмосферы, ночи и погоды, и её передачи на Землю.

Органическое вещество. Материал, полученный из живых организмов, состоящий преимущественно из углерода, водорода, кислорода и азота.

Пангея — суперконтинент, существовавший примерно от 335 до 175 миллионов лет назад, когда большая часть суши Земли была объединена в единое тело.

Пик добычи нефти — это теоретическая точка, в которой мировая добыча нефти достигает своего максимума и начинает снижаться. Этот пик неоднократно предсказывался и неоднократно откладывался благодаря новым технологиям.

Петрогосударство — страна, экономика и государственное управление которой в значительной степени зависят от доходов от нефти, часто ассоциируемая с «ресурсным проклятием».

Фотосинтез — это процесс, посредством которого растения и водоросли преобразуют солнечный свет, воду и углекислый газ в органические соединения и кислород.

Фотовольтаика — технология, которая преобразует солнечный свет непосредственно в электричество с использованием полупроводниковых материалов. Стоимость снизилась примерно на 99% с 1976 года.

Фитопланктон — микроскопические фотосинтезирующие организмы, плавающие в освещенных солнцем слоях океанов и озер. Предки большей части мировой нефти.

Границы планетарного масштаба. Ученые выделили девять процессов в земной системе (изменение климата, утрата биоразнообразия и т. д.), для которых установлены пороговые значения, за пределами которых становятся вероятными резкие изменения.

Планктон — крошечные организмы, как растительные (фитопланктон), так и животные (зоопланктон), которые дрейфуют в воде и составляют основу водных пищевых цепей.

Полимер — это крупная молекула, состоящая из множества повторяющихся звеньев. Пластмассы — это синтетические полимеры; ДНК и белки — природные.

Пост-углеродный переход — это переход от энергетической системы, основанной на ископаемом топливе, к системе, основанной на возобновляемых или других неископаемых источниках энергии.

Радиоактивные отходы — опасный побочный продукт ядерного деления, сохраняющий свою опасность в течение десятков тысяч лет и требующий долгосрочного обращения.

Возобновляемая энергия. Энергия из источников, которые естественным образом восполняются в масштабах человеческой жизни: солнечный свет, ветер, вода, геотермальное тепло.

Коллекторная порода — пористая, проницаемая горная порода, в которой накапливается нефть после миграции из материнской породы.

Парадокс резервов: наблюдение, что расширение запасов ископаемого топлива не внушает оптимизма, а вызывает тревогу: чем больше запасов, тем больше углерода доступно для высвобождения.

Ресинхронизация Процесс приведения энергетического метаболизма цивилизации в соответствие с естественным темпом биосферы. Центральная цель пост-углеродного перехода.

«Ресурсное проклятие» — парадокс, заключающийся в том, что страны, богатые природными ресурсами, особенно нефтью, часто имеют более слабые институты, более медленный экономический рост и больше конфликтов, чем страны, бедные ресурсами.

Осадочный бассейн — это углубление в земной коре, где с течением времени накапливаются осадки — место зарождения нефти.

Солнечный потолок — это верхний предел энергетической мощности, доступной цивилизации,

которая полностью зависит от текущего солнечного потока. Он преодолевается за счет ископаемого топлива.

Солнечная постоянная — количество солнечной энергии, достигающей верхних слоев атмосферы Земли: около 1400 ватт на квадратный метр .

Солнечный поток — это скорость, с которой солнечная энергия достигает поверхности Земли — «доходная» сторона энергетического уравнения, в отличие от «наследия» в виде ископаемого топлива.

Солнечно-синхронный режим. Цивилизация, полностью функционирующая за счет современной солнечной энергии — состояние всех человеческих обществ до промышленной революции и цель перехода к пост-углеродной экономике.

Материнская порода — геологическое образование, в котором образуется нефть, как правило, мелкозернистый, богатый органическими веществами сланец или аргиллит.

Структурная тенденция — это закономерность, которая статистически распространена и имеет идентифицируемые причины, но не является детерминированной — она может быть перекрыта другими факторами.

Сверхновая — взрывная гибель массивной звезды, при которой образуются элементы тяжелее железа,

включая уран. Это основной источник энергии для ядерного деления.

Технофоссил Объекты, созданные человеком и сохранившиеся в геологической летописи: пластик, бетон, алюминий, радионуклиды.

Сжатие времени. Основная концепция этой книги: несоответствие между временным масштабом, в котором накапливается энергия (геологическое время), и временным масштабом, в котором она потребляется (промышленное время).

Фильтр временного сжатия. Предлагаемое дополнение к гипотезе великого фильтра: узкое место, через которое цивилизация должна пережить последствия сжигания своих запасов ископаемого топлива.

Коэффициент временного сжатия (τ) — отношение времени накопления энергии ко времени её потребления. Для нефти: приблизительно один миллион к одному. Для ядерного деления: приблизительно десять миллиардов к одному.

Временной долг — это обязательство, налагаемое на будущее текущим использованием энергии, например, ядерные отходы, которые необходимо охранять тысячелетиями, или изменение климата, которое будет продолжаться столетиями.

Временное несоответствие. Любая ситуация, когда две связанные системы работают с несовместимыми скоростями — центральная структурная проблема, выявленная в этой книге.

Тепловая инерция — это тенденция крупных систем (особенно океанов) продолжать нагреваться даже после прекращения действия сил, вызывающих потепление, из-за их огромной теплоемкости.

Термодинамика — раздел физики, изучающий тепло, энергию и их превращения. Законы термодинамики управляют всем, что описано в этой книге.

Переломный момент — пороговое значение, за которым система претерпевает быстрые, часто необратимые изменения. Связан с бифуркацией и критическим переходом.

Граница жизнеспособности — это край множества жизнеспособных систем, порог, за которым система больше не может поддерживать свою жизнеспособность.

Диапазон жизнеспособности — это совокупность условий, в которых система может существовать. Для биосферы это диапазон температур, состава атмосферы и экологических условий, совместимых с жизнью в том виде, в каком мы ее знаем.

Теория жизнеспособности — математическая модель, разработанная Жан-Пьером Обином для анализа систем, которые должны удовлетворять ограничениям в каждый момент времени, чтобы выжить.

Виртуализация Замена физической активности цифровыми аналогами — удаленная работа, электронная коммуникация, виртуальные развлечения.

ХРОНОЛОГИЯ: ОТ ГЛУБОКОГО ВРЕМЕНИ К СЖАТОМУ ВРЕМЕНИ

Хронология идей, событий и открытий, составляющих основу этой книги, от образования нефти до наших дней.

Примерно 4,6 миллиарда лет назад произошло формирование Солнечной системы. В результате нуклеосинтеза сверхновых образуются тяжелые элементы, в том числе уран — будущее топливо ядерного деления (коэффициент сжатия во времени: примерно 10 миллиардов к одному).

Примерно 3,8 миллиарда лет назад появились самые ранние свидетельства жизни на Земле. Простые прокариотические организмы начали фотосинтез, улавливая солнечную энергию посредством химических связей.

Примерно 2,4 миллиарда лет назад произошло Великое окислительное событие. Фотосинтезирующие цианобактерии выделили достаточно кислорода, чтобы изменить атмосферу, что позволило возникнуть более сложным формам жизни.

Примерно 350 миллионов лет назад начинается каменноугольный период. Обширные тропические леса и продуктивные морские экосистемы генерируют колоссальные количества

органического вещества. Это начало великого месторождения — накопленной солнечной энергии, которая станет углем и нефтью.

~300–65 миллионов лет назад. Длительное накопление. Морской планктон отмирает, опускается на дно, оказывается погребенным в бескислородных отложениях и подвергается диагенезу и катагенезу в течение сотен миллионов лет, образуя месторождения нефти, которые мы разрабатываем сегодня. Начинает формироваться коэффициент временного сжатия: природа откладывает солнечный свет с геологической скоростью.

Примерно 65 миллионов лет назад произошло массовое вымирание в конце мелового периода. Отложились последние крупные нефтематеринские породы. Запасы нефти на Земле практически исчерпаны.

Примерно 300 000 лет назад в Африке появился *Homo sapiens*. В течение следующих 299 750 лет все человеческие цивилизации функционировали в солнечно-синхронном режиме.

Примерно 10 000 лет до н.э. — неолитическая революция. Начинается земледелие. Человечество начинает более интенсивно управлять солнечным потоком — расчищает земли, выращивает

сельскохозяйственные культуры, одомашнивает животных, — но остается в пределах солнечного потолка.

~4000 г. до н.э. Первые города в Месопотамии. Цивилизация развивается, но потребление энергии на душу населения остается ограниченным солнечным потоком. Население планеты: ~5 миллионов человек.

Примерно в 1 году н.э. численность мирового населения достигла около 200 миллионов человек. Рост был реальным, но медленным — в среднем менее 1% за столетие на протяжении четырех тысячелетий.

Примерно в 1000 году н.э. Китай эпохи династии Сун достиг, пожалуй, наивысшего уровня доиндустриальной цивилизации: появились подвижные шрифты, доменные печи, порох, магнитные компасы. Началось использование угля. Однако устойчивого экспоненциального роста не наблюдалось.

1086 года зафиксировано около 6000 водяных мельниц только в Англии — свидетельство изобретательного сбора солнечной энергии в пределах солнечного потолка.

В 1698 году Томас Сэвери запатентовал первую практичную паровую машину для откачки воды из

шахт. Угольная промышленность начала свой расцвет.

1712 год: Томас Ньюкомен создает усовершенствованный паровой двигатель атмосферного типа. Угольная промышленность в Англии набирает обороты.

Примерно в 1760 году в Британии начинается промышленная революция, движимая углем. Солнечный потолок начинает трескаться. Коэффициент временного сжатия для угля: примерно 100 000 к одному.

В 1769 году Джеймс Уатт запатентовал отдельный конденсатор, что значительно повысило эффективность паровых двигателей.

1800 год. Впервые в истории человечества численность населения Земли достигла примерно 1 миллиарда человек. Начался этап ускоренного роста, вызванного выбросами углерода.

В 1840 году Юстус фон Либиг опубликовал свой закон минимума: рост растений ограничивается самым дефицитным питательным веществом, а не самым распространенным. Это имеет отношение к последующим дебатам об удобрении CO_2 .

1846 год. Абрахам Геснер перегоняет керосин из угля. Приближается нефтяная эра.

1859 год. Эдвин Дрейк находит нефть в Тайтесвилле, штат Пенсильвания. Начинается нефтяная эра. Коэффициент сжатия запасов нефти во времени: приблизительно один миллион к одному.

1870 год. Джон Д. Рокфеллер основывает компанию Standard Oil. Создан первый крупный энергетический узел.

1882 год: Томас Эдисон открывает станцию на Перл-стрит, первую коммерческую электростанцию. Энергия ископаемого топлива поступает в дома в виде света.

в 1896 году . Свою карьеру он проведёт в нефтегазовой отрасли — в качестве главного инженера-энергетика на нефтяной компании UNIREA в Плоешти , Румыния.

1908 год: Генри Форд представляет модель Т. Начинается массовое владение автомобилями, что закрепляет зависимость цивилизации от нефти.

В 1922 году Альфред Лотка выдвинул принцип максимальной мощности: биологические системы эволюционируют для максимизации энергозатрат.

В 1926 году Владимир Вернадский публикует работу «Биосфера», в которой описывает живую оболочку Земли как геологическую силу.

1938 год. Отто Хан и Фриц Штрассмани добились ядерного деления. Коэффициент сжатия во времени: ~10 миллиардов к одному.

1944 год. Борис Берсон, вызванный советской разведкой, совершает полет над Плоешти, чтобы составить карту нефтепроводов, за которыми он ухаживал двадцать лет. Нефтепроводы разрушены. Румынская нефть — последний источник топлива для вермахта — перекрыта.

В 1956 году М. Кинг Хабберт предсказал, что добыча нефти в США достигнет пика примерно в 1970 году. В целом, его прогнозы относительно традиционной американской нефти оказались верны, но концепция «пика добычи нефти» окажется гораздо сложнее, чем предполагалось.

В 1965 году Борис Берсон скончался в Туапсе, на побережье Черного моря, после карьеры, включавшей работу на нефтеперерабатывающих заводах Румынии, Грозных нефтяных месторождениях и Туапском нефтеперерабатывающем заводе.

В 1972 году Римский клуб опубликовал работу «Пределы роста», первую крупную вычислительную модель истощения ресурсов и экологического перенасыщения.

1973 года . Геополитическая значимость нефтяных узлов становится неоспоримой.

В 1977 году Илья Пригожин получил Нобелевскую премию за работы по неравновесной термодинамике — физике систем, поддерживаемых потоками энергии, включая цивилизации.

В 1988 году Джозеф Тейнтер опубликовал книгу «Крах сложных обществ», в которой утверждал, что снижение отдачи от сложности приводит к краху цивилизаций — аргумент, связанный с энергетикой.

В 1991 году Жан-Пьер Обин опубликовал работу «Теория жизнеспособности», в которой представил математическую основу для анализа систем, которые должны удовлетворять определенным ограничениям для выживания. Это основополагающий инструмент для концепции временного сжатия.

В 1992 году Томас Голд опубликовал книгу «Глубинная, горячая биосфера», возродив гипотезу абиотического происхождения нефти.

В 1998 году Робин Хэнсон выдвинул гипотезу великого фильтра: нечто на пути от мертвой материи к межзвездной цивилизации должно быть очень сложным.

В 2009 году Йохан Рокстрём и его коллеги опубликовали концепцию планетарных границ, выделив девять процессов в земной системе с опасными пороговыми значениями. Представлено эмпирическое приближение множества жизнеспособных процессов в биосфере.

В 2010 году Вацлав Смил опубликовал работу «Энергетические переходы», в которой документируется количественная взаимосвязь между энергией и сложностью цивилизации на протяжении истории.

В 2011 году Тимоти Митчелл опубликовал книгу «Углеродная демократия», в которой анализирует политические структуры, созданные угольной и нефтяной инфраструктурой.

В 2014 году Ян Заласевич и его коллеги предложили концепцию техноокаменелостей — созданных человеком объектов, попадающих в геологическую летопись.

В 2016 году Андреас Мальм опубликовал книгу «Ископаемый капитал», в которой прослеживаются истоки экономики, основанной на ископаемом топливе. Чжу и др. подтвердили измеримое «озеленение» Земли, вызванное выбросами CO₂, на основе спутниковых данных.

В 2018 году марсоход Curiosity обнаружил органические молекулы в глинистом сланце возрастом 3 миллиарда лет в кратере Гейл на Марсе.

В 2022 году глобальная концентрация CO₂ превысила 420 ppm — на 50% выше доиндустриального уровня. Несмотря на быстрое внедрение возобновляемых источников энергии, глобальное потребление ископаемого топлива продолжает расти в абсолютном выражении.

2023 года обнаружил разнообразные органическо-минеральные ассоциации в кратере Езеро на Марсе. Опубликована 13-я версия V-Dem Codebook, содержащая данные для анализа управления и энергетики.

В 2026 году Борис Кригер публикует статью «Нефть как сжатое время: временное искажение цивилизации» (<https://doi.org/10.5281/zenodo.18673740>), на основе которой написана эта книга.

