

9

Большая история: энергия, энтропия и эволюция сложности*

Ф. Спир

Введение¹

Несомненно, любая попытка описать всю историю выглядит бессмысленной. Поэтому позвольте прояснить мои цели и предположения. Во-первых, я вовсе не утверждаю, что нашел исчерпывающее объяснение каждого события, имевшего место в истории. Объяснение любого периода в прошлом всегда подразумевает поиск равновесия между случайностью и необходимостью. Моя аналитическая схема касается необходимости. Она рассматривает общие тенденции, которые создают возможность появления и обеспечивают возникновение определенных форм сложной системы. Тем не менее даже в рамках такого подхода остается место для случайностей. И хотя в этом исследовании я лишь периодически обращаюсь к ним, читатель должен иметь это в виду².

Основополагающими понятиями моей схемы являются материя, энергия и энтропия (хаотичность). Об этом более подробно пойдет речь ниже. С современной научной точки зрения все, что существовало, состояло из определенного вида материи и энергии. Главное преимущество использования столь общих терминов заключается в том, что они применимы ко всем аспектам Большой истории. Второе важное преимущество – не нужно изобретать новую науку для того, чтобы понять ход Большой истории.

Я рассматриваю свою аналитическую схему как дальнейшую разработку понятий, раскрытых в моей книге *The Structure of Big History* (1996). В ней я предложил

* Данная работа является переводом статьи «How Big History Works: Energy Flows and the Rise and Demise of Complexity», которая была опубликована в альманахе *Evolution: Cosmic, Biological, and Social* / Ed. by L. E. Grinin, R. L. Carneiro, A. V. Korotayev, F. Spier, pp. 30–65. Volgograd: Uchitel, 2011. Как указано во Введении, статья снабжена примечаниями редакции (см. с. 162–164).

¹ Я очень благодарен Марту Баксу, Светлане Боринской, Эрику Чейсону, Дэвиду Кристиану, Карелу Ван Даму, Андре Гундеру Франку, Джине Джандоменико, Тейе де Жонгу, Джийсу Калсбику, Арнольду Лабри, Коену Мартенсу, Уильяму Х. Макнейлу, Джону Р. Макнейлу, Акопу Назаретяну, Мартину Питерсону, Лукасу Рейндерсу, Грэму Снуксу, Яну Спиру, Эгберту Телледжену, Джону де Восу, Питеру Вестброеку и Антонио Велезу за их глубокие комментарии. Конечно, они не несут ответственности за то, как я использовал их критический анализ.

² Представленные здесь взгляды являются результатом моей научной карьеры. Сначала я учился на биохимика, специализируясь на генной инженерии растений. Затем получил образование по специальности «культурная антропология и социальная история» и специализировался на религии и политике в Перу. Следующие десять лет были посвящены разработке в Амстердамском университете обширного курса Большой истории, который дает общую картину прошлого от возникновения Вселенной до современной жизни на Земле. Амстердамский курс впервые был организован по инициативе Дэвида Кристиана в Университете Маккуори (Сидней, Австралия) в 1980-х гг. Все ученые, преподававшие амстердамский курс, внесли свой вклад в развитие моего понимания нашего всеобъемлющего прошлого. Огромный шаг вперед к моей нынешней схеме я сделал в феврале 2003 г. во время ежегодного амстердамского курса Большой истории. После лекции моя жена Джина, готовя ужин, спросила меня, почему Большая история развивалась именно так, а не иначе. Стараясь ответить по возможности ясно и кратко, я внезапно понял, что такого вопроса мне еще никто никогда не задавал. Я также мгновенно осознал, что ответ может быть простым и изящным. Это эссе – мой ответ на вопрос Джины.

Универсальная и глобальная история 133–166

использовать термин *режимы* для всех более или менее структурированных процессов, которые составляют Большую историю. Сейчас режимы представляются мне очень полезными не только для описания Большой истории, но и для ее толкования.

Помимо общего представления о материи, энергии и энтропии, которое я получил за время работы в области химии, большое влияние на мое понимание энергетических потоков оказали работы исследователей (расположены в хронологическом порядке) Марвина Харриса (Harris 1975; 1980), Джереми Рифкина (Rifkin 1981), Яна Гордона Симмонса (Simmons 1993; 1994), Дэвида Кристиана (в период с 1991 по 2004 г., см.: Christian 1991; 2003; 2004), Ильи Пригожина и Изабеллы Стенгерс (Prigogine, Stengers 1984), Стюарта Кауфмана (Kauffman 1993; 1995), Эрика Чейсона (Chaisson 1981; 1988; 2001; 2005; Chaisson, MacMillan 1999), Эриха Янча (Jantsch 1980), Вацлава Смила (Smil 1994) и Лесли Уайта (White 1943; 1975)³. Моя система суждений во многом опирается на идеи Эрика Чейсона, в особенности на его выдающуюся книгу *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature* (Chaisson 2001), а также на работы Дэвида Кристиана: его статью «The Case for “Big History”» (Christian 1991) и книгу *Maps of Time: An Introduction to Big History*, опубликованную в 2004 г. Кроме того, историк Джон Р. Макнейл недавно также написал краткий обзор на эту тему (McNeill J. R., McNeill W. H. 2003: 319–323). Таким образом, синтез, представленный здесь, должен в значительной мере считаться результатом совместных усилий.

Ввиду ограниченности объема я разобрал в этой статье только самые важные элементы схемы. Многие нюансы, примеры и детали пришлось опустить. Подробнее они изложены в моей книге *Big History and the Future of Humanity*.

Сложность и космическая история

История Вселенной – это история роста сложности (см. прим. ред. 1). Вначале никакой сложности вообще не существовало. Чем больше развивалась Вселенная, тем сложнее становились ее составляющие. На сегодняшний день, спустя примерно 13,7 млрд лет космической эволюции, человеческий вид, возможно, самый сложный организм во всей известной Вселенной.

С самой общей точки зрения сложность есть результат взаимодействия материи и энергии, которое влечет за собой образование более или менее сложных материальных структур (я буду называть их *материальными режимами*). Вот почему история космоса имеет дело преимущественно с проблемами формирования, расцвета, а затем разрушения этих материальных режимов. К сожалению, не существует общепринятого понимания того, как определить уровень сложности материальных режимов. Тем не менее нет никакого сомнения, что определенные режимы следует признать более сложными, чем другие. К примеру, кто осмелится утверждать, что бактерия более сложная по своей структуре, чем человеческий организм, или протон сложнее, чем ядро урана? Очевидно, что число базовых компонентов определенного материального режима, их разнообразие и взаимодействие в совокупности определяют уровень сложности.

³ Открытия Лесли Уайта относительно проблем энергии, энтропии и культуры в рамках Большой истории (White 1943; 1959; 1975) предшествовали работам всех известных мне крупных историков. Эпилог Дж. Р. Макнейла *Big Pictures and Long Prospects* в недавно вышедшей книге Дж. Р. Макнейла и Уильяма Х. Макнейла *The Human Web: A Bird's Eye View of World History* (McNeill J. R., McNeill W. H. 2003: 319–323) повторяет идеи Лесли Уайта и общие представления Эрика Чейсона. После того, как я сформулировал свой подход, я узнал о теориях Грэма Снукса (которые он начал разрабатывать в 1996 г.). Хотя я нахожу некоторые из его формулировок не вполне убедительными (например, я не думаю, что увеличение потоков материи и энергии было доминирующей стратегией), я действительно считаю, что мы идем по такому же пути.

В связи с этим я имею смелость утверждать, что материальный режим тем сложнее, чем более разнообразны связи между растущим количеством базовых компонентов, из которых состоит материальный режим. Другими словами, режим тем сложнее, чем больше целое отличается от суммы составляющих его частей (Chaisson 2001: 12–13).

С точки зрения Большой истории наивысшие формы сложности возникают и существуют на поверхности небесных тел, расположенных на внешних краях галактик (см. прим. ред. 2). Другими словами, наивысшая форма сложности – как правило, феномен пограничный, возникающий на границах более крупных систем; пограничный он и в том смысле, что встречается очень редко. Большая часть Вселенной состоит из менее крупных форм сложности. Впрочем, как заметил Эрик Чейсон, к живым системам это «правило пограничности» не относится. Самые сложные биологические системы (наиболее яркий пример – молекулы ДНК и мозг) должны располагаться в центре системы или рядом с центром, а не на границах системы. Очевидно, этот тип сложности более высокого уровня нуждается в защите от материи и потоков энергии извне, которые могут быть слишком большими, и в этом случае способны разрушить системы, или слишком маленькими, что приведет к их замерзанию. Другими словами, жизнь создала своего рода скафандр, чтобы он, этот наивысший уровень сложности, мог существовать. По существу, земной жизни удалось превратить всю биосферу в космический скафандр. Это, на мой взгляд, и есть суть гипотезы Геи Джеймса Лавлока (Lovelock 1987), согласно которой земная жизнь выработала механизмы обратной связи, которые создают условия в биосфере, благоприятные для непрерывного существования жизни на нашей планете.

Три основополагающих типа сложности

Можно выделить три [известные нам. – *Ред.*] главных вида сложности: физическая неживая природа, жизнь и человеческая культура. Начнем с физической природы. В первую очередь очень важно понять, что фактически большая часть природы неживая. Следующий пример, возможно, поможет в полной мере оценить всю ее значимость и масштабность. Для простоты допустим, что Земля весит ровно столько же, сколько средний американский легковой автомобиль (около 1000 кг). Тогда вес всех живых организмов на планете в совокупности составил бы не более 17 микрограммов. Это равняется весу очень маленького кусочка краски, отколовшегося от этого автомобиля. А общий вес нашей Солнечной системы в таком случае был бы эквивалентен весу среднего супертанкера. Поскольку масса Вселенной в целом неизвестна, я воздержусь от дальнейшего сравнения. Но даже если бы жизнь во Вселенной встречалась так же часто, как в пределах нашей Солнечной системы, ее относительный общий вес был бы не больше очень маленького кусочка краски, отколовшегося от супертанкера.

Эта космическая неживая материя демонстрирует различные уровни сложности: от отдельных атомов до крупных галактик; вся она полностью самоорганизуется благодаря фундаментальным законам природы. Хотя образующиеся в результате такой самоорганизации структуры могут быть более развитыми, сложные неживые системы не используют информацию для самообразования или поддержания собственного существования. Иными словами, не существует информационных центров, которые бы определяли, как должен выглядеть физический мир неживой природы. Бессмысленно искать, где хранится информация, которая помогает формировать Землю или нашу Солнечную систему.

Следующий уровень сложности – это жизнь. Как мы только что видели, жизнь в целом есть пограничный феномен. Однако сложность жизни намного превосходит сложность любой неживой материи. В отличие от неживой Вселенной живой орга-

низм стремится создать и сохранить условия, подходящие для собственного существования, активно поглощая материю и энергетические потоки с помощью специальных механизмов. Как только живые организмы перестают это делать, они умирают, и их материя и энергия возвращаются на более низкие уровни сложности (пока их не поглотят другие живые организмы). Жизнь самоорганизуется с помощью (главным образом, наследственной) информации, хранящейся в молекулах (по большей части в ДНК). Во время изучения живых организмов большое значение имеет то, где расположены информационные центры, как выглядит информация и как работают контрольные механизмы, которые помогают переводить эту информацию в биологические формы.

Третий уровень сложности был достигнут, когда некоторые сложные живые организмы начали самоорганизовываться, используя культурную информацию, которая в качестве своего рода программного обеспечения хранится в нервных и мозговых клетках. Биологическими особями, развившими данную способность в большей степени, стали, конечно, люди. Если говорить об общем физическом весе человечества, то в настоящий момент он составляет около 0,005 % всей биомассы планеты. Если бы все живые организмы представляли собой только очень маленький кусочек краски, падающий с автомобиля, все люди на сегодняшний момент приравнивались бы не более чем к крошечной колонии бактерий, сидящих на этой чешуйке. Тем не менее совместными усилиями мы научились управлять значительной частью земной биомассы, возможно, от 25 до 40 %. Другими словами, с течением времени этой крошечной колонии микроорганизмов, проживающих на кусочке краски, удалось установить контроль над значительной частью данной чешуйки. Мы смогли это сделать благодаря культуре. По сути своей культура – это накопленный опыт, хранящийся подобно программному обеспечению в наших мозговых и нервных клетках или в архивах человечества. Чтобы понять, как функционируют человеческие сообщества, недостаточно исследовать ДНК и молекулярное строение людей. Необходимо изучать информацию, которую люди используют для упорядочения собственной жизни и остального мира.

Энергетические потоки и сложность

По всей видимости, за время истории Вселенной все основные формы физической, биологической и культурной сложности появились сами по себе. Поскольку с научной точки зрения влияние сверхъестественных сил, приводящих к образованию сложных систем, – объяснение неприемлемое (мы никогда не видели, как действуют такие силы) (см. прим. ред. 3), неизбежно возникает главный вопрос: как образовался космос? Этот вопрос становится еще более сложным, когда мы осознаем, что в нашей повседневной жизни часто наблюдаем обратное: превращение сложности в хаос. Детские комнаты, например, никогда не убираются сами по себе, и в отсутствие системы сбора мусора города быстро погрязли бы в собственных отходах. Эта трансформация сложности в хаос известна как второй закон термодинамики. Этот закон утверждает, что с течением времени уровень беспорядка (энтропии) должен возрастать. Иными словами, история Вселенной тоже должна быть историей растущего беспорядка. Таким образом, любой рост уровня сложности неизбежно должен сопровождаться более масштабным ростом беспорядка в другом месте.

Согласно современному видению, которое среди прочих ученых недавно выразили Илья Пригожин, Изабелла Стенгерс и Эрик Чейсон, сложность появляется тогда, когда энергетические потоки проходят сквозь материю. Только в этом случае возможно возникновение более сложных структур (см. прим. ред. 4). Но что означает

понятие «энергетические потоки»? Это не так просто, как может показаться. Эрик Чейсон определяет *показатель плотности потока свободной энергии*, обозначаемый символом Φ_m , как количество энергии в секунду, которое проходит сквозь определенную массу (свободная энергия – это энергия, способная выполнять полезные задачи; это означает, что существует дифференциал энергии, который можно вычислить). Далее Чейсон утверждает, что существует четкая корреляция между уровнем сложности и рассчитанным для нее *показателем плотности потока свободной энергии* (см. прим. ред. 5). Это центральный аргумент его книги *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature* (Chaisson 2001)⁴. Хотя по сравнению со многими другими элементами Большой истории люди могут показаться ничтожно малой величиной, согласно Чейсону, мы, безусловно, выработали самый большой *показатель плотности потока свободной энергии* в известной Вселенной (см. прим. ред. 6). Увы, термин *показатель плотности потока свободной энергии* весьма громоздкий. Наряду с ним другие ученые используют его эквивалент – термин *плотность потока энергии*. Мы будем отдавать предпочтение ему, поскольку теперь и Чейсон использует этот термин.

Удивительно мало внимания было уделено деградации сложности⁵. Говоря в самом общем смысле, сложные системы разрушаются, когда энергетические потоки и/или уровни энергии (температура и давление) становятся или слишком высокими, или слишком низкими. Например, ни один биологический режим не способен выжить в условиях недостатка энергии (см. прим. ред. 7). Однако если такой организм будет испытывать влияние слишком больших потоков энергии, это также окажется губительным для него. Это утверждение верно и для неживых режимов, таких как, например, скалы, планеты или звезды. Следовательно, все материальные режимы характеризуются определенными предельными условиями, в рамках которых они могут существовать. Имея в виду популярную детскую сказку, я называю это *принципом Златовласки* (Goldilocks Principle) (см. прим. ред. 8). В настоящей статье я утверждаю, что энергетический подход, изложенный в общих чертах выше, вместе с принципом Златовласки составляет первую схему исторической теории развития (практически) всего. Возможно, это громкое заявление, и все же, я думаю, дело обстоит именно так. Эта теория, конечно, не может описать все детали, но она действительно предлагает определенную структуру и до некоторой степени объясняет тот путь, что проделала Большая история. Далее в статье я представлю первую версию этой теории.

Большой взрыв и радиационная эра

Согласно современной теории образования Метагалактики, в начале времени и пространства наблюдалось огромное скопление крайне плотно сосредоточенной недифференцированной энергии/материи. В момент возникновения Вселенная была

⁴ Восторгаясь идеями Эрика Чейсона, я тем не менее считаю его понятие *показатель плотности потока свободной энергии* несовершенным. Я продолжаю задаваться вопросом: должен ли этот термин учитывать не только массу, но и объем? Конечно, такая звезда, как наше Солнце, обладает большей плотностью, чем наша галактика в целом, земная атмосфера или человеческое общество. Очевидно, что люди не смогли бы существовать, если бы располагались очень близко друг к другу – им необходимо определенное пространство. В теории Чейсона эти различия игнорируются. В будущих исследованиях я предпочел бы использовать другой термин, который предварительно назвал *показателем плотности потока адаптированной свободной энергии* в единицах измерения времени на массу на объем. Учет объема позволил бы проводить более реалистические сравнения потоков энергии, проходящих через материю.

⁵ Исключением является книга Дж. Э. Тэйнтера *The Collapse of Complex Societies* (Tainter 1988). В ней автор в терминах потоков энергии обсуждает крах сложных обществ.

бесконечно плотной, невообразимо раскаленной и почти однородной. Другими словами, момент Большого взрыва был наипростейшим и основным из возможных режимов.

Радиационная эра прежде всего сопряжена с появлением трех основных сил, которые организуют материю: ядерной силы, электромагнетизма и гравитации (см. прим. ред. 9). Ядерная сила, которая, безусловно, на очень коротких расстояниях оказывает самое мощное воздействие, позднее могла стать причиной возникновения первого уровня материальной сложности. Эта форма сложности состояла из мельчайших субатомных и атомных частиц. Вторая стадия, во время которой были сформированы атомы, молекулы и группы молекул, была связана с промежуточной силой – электромагнетизмом. Эффекты гравитации, самой слабой из трех сил, но оказывающей наиболее сильное влияние на достаточно далеких расстояниях, проявили себя последними и привели к возникновению всех более крупных структур в обозримой Вселенной.

В первой фазе расширения космоса разница температур если и существовала, то была минимальной. Однако в результате расширения космоса температуры начали резко снижаться. В период ранней Вселенной господствовала радиация, поскольку устойчивой крупномасштабной материи еще не существовало. По этой причине Эрик Чейсон называет раннюю фазу космической истории *радиационной эрой*. Но в этот период, пока Вселенная расширялась, а температура и давление резко понижались, из радиации появились все элементарные частицы: сначала (за доли секунды) более тяжелые адроны, главным образом протоны и нейтроны, затем более легкие лептоны, такие как электроны и нейтрино. Их появление заняло приблизительно 100 секунд. Тем не менее согласно стандартному космологическому представлению большинство этих субатомных и атомных частиц, сначала образовавшись, скоро уничтожили друг друга и повторно преобразовались в радиацию. Уцелела лишь крошечная часть простейшей материи. Этот остаток и стал строительным материалом для всех известных форм материальных сложностей, которые возникли впоследствии.

За этим периодом последовал нуклеосинтез некоторых более легких элементов, в особенности гелия и дейтерия, а также более тяжелых. Однако расширение происходило настолько быстро, что большое количество материи осталось в форме протонов, составляющих ядра водорода. Это привело к формированию первичного состава Вселенной, примерно 70 % которого занимал водород и 27 % – гелий, остальное пространство заполняли более тяжелые химические элементы. Весь этот процесс занял приблизительно пятнадцать минут. Очевидно, что в результате расширения молодой Вселенной возникли условия принципа Златовласки, необходимые для этой последовательности событий (см. прим. ред. 10).

Не совсем ясно, распределилась ли радиация в этот период абсолютно равномерно (см. прим. ред. 11). В то же время, как подчеркивает Эрик Чейсон, энтропия находилась на пике (см. прим. ред. 12). Современные измерения космической фоновой радиации показывают, что примерно через 400 тыс. лет после Большого взрыва флуктуации были незначительными. Интересно, может ли это также указывать на увеличение сложности энергетического режима ранней Вселенной?

Эра вещества

Примерно через 50 тыс. лет расширения космоса радиационная эра завершилась. К тому времени температура излучения молодой Вселенной упала до отметки примерно 16 000 К (см. прим. ред. 13).

Поскольку Вселенная продолжала расширяться, температура излучения снижалась. В результате значение радиации уменьшилось. Космическое расширение, однако, не оказывало подобного влияния на материю (см. прим. ред. 14). Хотя, исходя из масштаба Вселенной, материя стала более разреженной, непосредственно частицы не изменились по своей природе. Впоследствии материя играла все большую роль. Как говорит Эрик Чейсон, началась *эра вещества* (см. прим. ред. 15). Этот переход означал возникновение первой стабильной формы материальной (вещественной) сложности. На ранней фазе эры материи существовало лишь несколько видов мельчайших составных компонентов материи: по большей части протоны, нейтроны и электроны (см. прим. ред. 16). Тяжелые химические элементы еще не сформировались. Расширение происходило настолько быстро, что высокие температуры и давление, необходимые для формирования более тяжелых элементов, еще достаточно долго не устанавливались. В результате возможности возникновения более сложных систем в ранней Вселенной были ограничены.

Здесь мы подходим к важному фактору реального образования сложных систем, а именно времени. Необходимо много времени, часто очень много, для того, чтобы сложная система появилась. В определенных ситуациях имеющегося потока и уровня энергии бывает достаточно для достижения более высоких уровней сложности. И все же если такие условия преобладают только в течение короткого времени, значительное количество сложных систем сформироваться не может. Напротив, разрушение сложных систем более высокого уровня может происходить очень быстро.

После примерно 300 тыс. лет расширения Вселенная охладилась до температуры примерно 3000 К, в то же время давление также продолжало падать. Более низкие энергетические уровни впервые позволили отрицательно и положительно заряженным частицам объединиться и сформировать материальные режимы большей сложности: сначала атомы, а позднее – молекулы. Этот процесс оказал значительное влияние на излучение, поскольку оно гораздо больше подвержено воздействию заряженных частиц, нежели нейтральных. Радиация внезапно получила возможность распространяться по всей Вселенной практически беспрепятственно. Установление космической фоновой радиации на уровне 2,73 К, которую мы наблюдаем сегодня, восходит к этим историческим изменениям.

Эта «нейтрализация» Вселенной также выявила важное изменение в системе факторов, определяющих уровни сложности, которых могут достичь материальные режимы. До этого только уровень энергии ограничивал уровень сложности материальной системы. Однако спустя примерно 300 тыс. лет расширения космического пространства формирование сложных систем могло произойти в результате взаимодействия энергетических уровней и потоков. С тех пор все сложные субатомные системы возникали в результате действия ядерной силы (при некотором участии «слабой силы», которая теперь считается частью электромагнитных явлений) (см. прим. ред. 17). Сложные системы средних масштабов, от атомов и молекул до звезд и планет, возникли в результате действия электромагнитных сил и сил притяжения, в то время как все крупномасштабные системы, начиная с нашей Солнечной системы и заканчивая скоплениями галактик, были сформированы силой притяжения.

С точки зрения Эрика Чейсона, расширение космического пространства было чрезвычайно важно для образования сложных систем (Chaisson 2001: 126). Поскольку в ранней Вселенной уровень энтропии достиг максимального значения, развитие сложности требовало своего рода мусорного контейнера для сброса энтропии, поскольку формирование местного или ареального порядка предполагает возникновение дополнительного беспорядка в другом месте. Продолжающееся расширение Вселенной обеспечивало увеличение пространства для энтропии и, таким образом, осуществляло функцию огром-

ного мусорного контейнера, который мог поглощать энергию низкого уровня, прежде всего тепло. И до тех пор, пока Вселенная будет расширяться, космический контейнер для мусора будет увеличиваться. В результате он сможет хранить возрастающее количество энергии низкого уровня. Это (и только это) позволяет энергетическим уровням продолжать свое движение и сложным системам – существовать (см. прим. ред. 18).

Пока космическая корзина для мусора росла, стала проявляться другая важная тенденция: различные энергетические уровни начали выравниваться. Оба этих процесса способствовали развитию сложных систем. Учитывая, что энергетические запасы Вселенной в целом не пополняются, при условии, что в обозримом будущем Вселенная будет продолжать расширяться, долгосрочным результатом всех этих воздействий станет общее повсеместное увеличение энтропии. Другими словами, в весьма отдаленном будущем Вселенная будет довольно мрачным местом.

Формирование галактик

Неослабевающее расширение Вселенной привело к дальнейшему падению уровня температуры, в результате чего гравитация стала способствовать объединению материи. С тех пор гравитационная энергия управляла формированием более крупных структур – от материальных образований размером с астероид до целых скоплений галактик. Условия, подходящие для образования галактик, наблюдались только в течение первых двух миллиардов лет или около того. Уже в процессе формирования большинство галактик начали отдаляться друг от друга. Это фактически и определяет расширение Вселенной. В ряде случаев, однако, сила притяжения не позволяла галактикам разлетаться, а некоторые галактики фактически слились с другими. Но с течением времени значимость этих событий снизилась.

В настоящее время считается, что довольно загадочная темная материя также могла сыграть важную роль в процессе формирования галактик. Доказательством существования темной материи является ее гравитационное воздействие на галактики, которое существующая теория гравитации не может в полной мере объяснить. Сегодня астрофизики считают, что во Вселенной больше темной материи, чем обычной. Однако иначе как посредством гравитации темная материя не может взаимодействовать с известной нам материей или радиацией, а если может, то очень слабо. Согласно этой модели, большие скопления темной материи начали образовываться задолго до нейтрализации Вселенной. Таким образом формировались гораздо более крупные гравитационные структуры, которые впоследствии притягивали известную нам барионную материю, объединявшуюся в галактики. Возможно, это были главные механизмы их формирования.

В то время как Вселенная продолжала расширяться, галактики более или менее сохраняли свои первоначальные размеры. В результате Вселенная стала более дифференцированной. С течением времени в пределах галактик возникла сложность более высокого уровня. Расширяющееся межгалактическое пространство, напротив, было в основном пустым и, следовательно, никогда не смогло бы стать достаточно сложным. Тем не менее межгалактическое пространство действительно служило космическим мусорным контейнером для энергии низкого уровня, производимой галактиками. Это способствовало развитию сложности в пределах галактик.

Для ядер звезд, недавно сформировавшихся в галактиках, были характерны условия, похожие на те, что наблюдались на ранней стадии эры материи. Температура повысилась до 10^7 К и выше, в то время как давление достигло 10^{11} атмосфер и более. Основное отличие от ранней эры материи заключалось в том, что продолжительность жизни звезд была намного больше, чем период возникновения первых элементов. Это означает, что времени для образования более тяжелых химических элементов было

гораздо больше. В результате звезды стали главными очагами производства более сложных ядерных систем.

Механизмом осуществления этого процесса стал нуклеосинтез. После того, как под влиянием гравитации объединилось достаточное количество ядер водорода, температура и давление повышались настолько, что разгорались ядерные цепные реакции (см. прим. ред. 19), и из четырех ядер водорода возникало одно ядро гелия. Во время этого процесса некоторая материя обратилась в энергию, впоследствии распространившуюся по Вселенной. С течением времени излучение привело к формированию большинства биологических и культурных сложных систем.

Все звезды возникли в результате скопления материи и энергии, которые гравитация притягивала из окружающего пространства (см. прим. ред. 20). Однако после того, как они сформировались, необходимости использовать внешнюю материю для поддержания их существования уже не было. Фактически звезды сияют благодаря энергии, которую генерируют внутри себя (под давлением гравитации), а не за счет непрерывного поглощения энергии из окружающей среды. В отличие от живых существ, которые для поддержания своей системы должны непрерывно извлекать из окружающей среды как материю, так и энергию, звездам не нужна новая энергия, чтобы сиять (см. прим. ред. 21).

Развитие сложной системы простейших структурных элементов

На ранней стадии развития галактик звезды состояли только из нескольких элементов, главным образом из водорода и гелия. Это строго ограничивало уровень сложности, которого могла достигнуть ранняя Вселенная. Однако с течением времени разнообразие структурных элементов стало расти. Результатом нуклеосинтеза стало возникновение новых элементов внутри звезд. Процесс ядерного слияния в звездах постепенно, но неизбежно приводит к истощению главного поставщика топлива — водорода. В крупных звездах под длительным воздействием силы притяжения ядро нагревается до температуры выше 10^8 К. Начинается новый процесс слияния ядер, в результате которого гелий преобразовывается в еще более тяжелые химические элементы, вплоть до железа. Кроме того, состояние это относительно устойчиво и стабильно. В отличие от условий, которые преобладали сразу после Большого взрыва, когда расширение шло настолько быстро, что формирование более тяжелых химических элементов было невозможным, в случае со звездами, приближающимися к концу своего существования, времени для формирования более сложных атомных ядер достаточно. В результате возникает относительно много таких химических элементов.

Когда эти процессы завершены и дальнейший процесс ядерного слияния в ядрах звезд невозможен, звезда может сначала сильно сжаться под воздействием силы притяжения, а затем взорваться в результате внезапного возобновления нуклеосинтеза (см. прим. ред. 22). Под действием этих краткосрочных, но очень мощных факторов формируются еще более тяжелые химические элементы, вплоть до урана. Поскольку эти процессы очень быстро заканчиваются, тяжелые химические элементы, такие как золото и уран, встречаются довольно редко. Постепенно благодаря этим так называемым новым и сверхновым звездам в пространстве начали появляться новые формы сложности. Иными словами, они обогатили конструкторскую лабораторию природы более разнообразными строительными компонентами. В результате могли быть созданы более сложные элементы. Эти химические элементы иногда достигали тех районов, где обстоятельства благоприятствовали дальнейшему развитию сложности. Когда из облаков галактической пыли, поглощая новые химические элементы, практи-

чески на внешних краях галактик формировались новые звезды и планеты, возникали новые уровни сложности. На поверхности одной из таких удачно расположенных планет эти химические элементы могли стать основой развития биологической и позже – культурной эволюции.

Звезды и планеты

Сложность внутри звезд возникает благодаря тому, что там имеется постоянный источник энергии, обеспечиваемый слиянием атомных ядер, плотно упакованных гравитацией. Эта энергия затем течет против градиента энергии по направлению к поверхности звезды. Сложность звезд есть, следовательно, результат баланса между гравитацией и нуклеосинтезом. Ситуация с планетами более запутанная. Их сложность обусловлена силой притяжения, энергией, высвобождаемой внутри, – в основном путем деления ядер под действием силы притяжения (см. прим. ред. 23), – а также внешней энергией, полученной в виде излучения от центральных звезд. Это излучение влияет в основном на поверхность планет. Подобно звездам, планеты не нуждаются в постоянном поглощении из окружающей среды новой материи для поддержания определенных уровней сложности системы.

На самом деле большинство звездных и планетных систем достаточно примитивны. По словам Филиппа и Филлис Моррисон, «астрономия – это система сфер; в нашем мире невозможно существование какой-нибудь чайной чашки диаметром с Юпитер» (Morrison *et al.* 1994: 7). Иными словами, в физическом пространстве Вселенной правят сферы и скопления сфер. Поскольку большая часть материи во Вселенной вращается, под воздействием возникающей центробежной силы эти сферы уплощаются. Это объясняет, почему в небе преобладают более или менее уплощенные сферы или группы сфер различной конфигурации. Лишь сравнительно небольшие объекты, такие как астероиды, могут приобретать более сложные формы. Чайная чашка же – это изобретение жизни, наделенной культурой.

Поскольку звезды и планеты в основном зависят от возникающих спонтанно внутренних источников энергии и поддерживают свое существование, не имея инструментов, подобных тем, которые есть у более совершенных систем, возможности для развития сложности в них достаточно ограничены. В частности, в глубине небесных тел, а также в центре галактик *плотность потока энергии* может быть небольшой, а температура и давление – высокими. Эти обстоятельства не позволяют развиваться более сложным материальным режимам.

Формирование сложности на окраинах

На окраинах галактик (см. прим. ред. 24) или на поверхности звезд и планет могут возникнуть сложные системы более высокого уровня. Происходит это из-за огромной разницы энергии на поверхности звезд и планет и энергии в окружающем пространстве, при этом энергетические уровни могут быть более умеренными. На поверхности звезд, конечно, энергетические уровни все еще слишком высоки, чтобы обеспечить существование достаточно сложных систем на молекулярном уровне. На поверхности же небольших планет, напротив, энергетические уровни могут быть более умеренными. В результате могут образовываться горы и океаны и одновременно протекать процессы химической эволюции. Кроме того, росту уровня сложности планетных систем может существенно способствовать сравнительно мягкий поток энергии от центральной звезды. Однако под поверхностью планет, ближе к центру, шансы на развитие более высокого уровня сложности слабы. Очень скоро энергетические уровни становятся слишком высокими, а разницы энергии – слишком маленькими. Следовательно,

на планетах только поверхности и атмосферы могут продемонстрировать достаточно высокий уровень сложности.

В результате сложные биологические и культурные системы – явления пограничные. Они могут существовать лишь на внешних границах планет, вращающихся вокруг звезд, которые, по всей вероятности, располагаются на внешних краях галактик. Только в таких местах условия благоприятные. Энергетические потоки и уровни не настолько велики, чтобы уничтожить наиболее развитые формы, но и не настолько малы, чтобы помешать их формированию.

Почему Земля является благоприятным местом для формирования более высокого уровня сложности?

Во-первых, Земля имеет более или менее подходящий размер. Если бы наша планета была меньше, ее слабое притяжение не смогло бы удерживать газообразную оболочку и жидкие поверхностные воды, а если бы Земля была крупнее, ее притяжение уничтожило бы большинство живых существ, особенно на суше или в воздухе. К тому же из-за размеров Земли ее недра по-прежнему раскалены. Это обеспечивает энергией процесс тектоники плит, который движет большей частью земной поверхности и отвечает за переработку отходов жизнедеятельности (Westbroek 1992).

Во-вторых, наша планета вращается вокруг Солнца на более или менее подходящем расстоянии. Это означает, что солнечное излучение не слишком слабое (в таком случае оно не обеспечивало бы достаточно для развития жизни количество энергии) и не слишком сильное (в этом случае оно уничтожило бы жизнь). В-третьих, Земля наделена большим спутником, который стабилизирует вращение земной оси. Без этого спутника наклонное положение земной оси изменялось бы непредсказуемо. Это повлекло бы за собой серьезные изменения уровня солнечной радиации на поверхности Земли, что в свою очередь сделало бы трудным, если не невозможным, развитие сложных организмов (McSween 1997: 119). Кроме того, орбиты и размеры других планет, особенно Юпитера, способствовали сохранению земных условий, благоприятных для нашего появления и других сложных форм жизни.

Сегодня вся жизнь на Земле развивается в достаточно ограниченных условиях принципа Златовласки. Температуры колеблются от 0 до 90 °С, в то время как давление варьируется от 1070 атмосфер (Марианская впадина) до примерно 0,6 атмосфер высоко в горах или непосредственно в воздухе (см. прим. ред. 25). Безусловно, споры бактерий могут выжить при более низких температурах, но они не смогут размножаться. Условия могут показаться весьма разнообразными для земных организмов. Тем не менее с точки зрения Большой истории это скорее особый случай. Такие условия можно обнаружить только на поверхности планет или крупных спутников, вращающихся вокруг огромных планет. На нашей планете это хрупкое равновесие энергетических потоков и уровней обеспечивают солнечное излучение, попадающее на поверхность планеты, тепло, высвобождаемое из недр Земли, и его выброс посредством инфракрасного излучения обратно в космический мусорный контейнер. Благодаря этому прекрасно настроенному балансу энергетических уровней и потоков и могла возникнуть жизнь.

Жизнь и энергия

Хотя живые организмы очень малы по сравнению с планетами, звездами и галактиками, как это ни удивительно, возможно, им удалось достичь более высокой *плотности потока энергии* (Chaisson 2001: 139). Средняя *плотность потока энергии* (Φ_m) нашей галактики составляет лишь $0,5 \times 10^{-4}$ Вт/кг, в то время как Φ_m для нашего Солнца – около 2×10^{-4} Вт/кг. Φ_m Земли значительно выше, а именно $7,5 \times 10^{-3}$ Вт/кг. Тем не менее

современные растения смогли достичь величины примерно в 9×10^{-2} Вт/кг, а животные и того больше (2 Вт/кг). Как же возможно, что огромное количество энергии, производимое звездами, приводит к такой низкой величине Φ_m ? Существуют две причины: во-первых, звезды очень тяжелые и, во-вторых, потоки энергии не такие огромные. В абсолютном выражении потоки энергии, потребляемые жизнью, конечно, незначительны. Но так как жизнь очень мала, а энергетические потоки, которые она потребляет, по сравнению с ней огромны, ее *плотность потоков энергии* гораздо выше. Это верно и для энтропии, порождаемой жизнью, в частности в отношении низкого уровня радиации, которая легко сбрасывается в космический мусорный контейнер.

Появление жизни подразумевает появление принципиально нового механизма развития сложности. В отличие от звезд и галактик биологические организмы не могут расширяться, поскольку внутри себя они преобразуют материю в энергию, черпая ее из существующих запасов. Живым организмам необходимо постоянно получать материю и энергетические потоки из окружающей среды, чтобы поддерживать свое существование и, по возможности, воспроизводиться (Lehninger 1975: 3–4). Если бы живые существа не делали этого, они бы очень скоро умерли и разложились. Это было понято давно. Уже в 1895 г. австрийский физик Людвиг Больцман утверждал, что вся жизнь – это борьба за свободную энергию (цит. по: White 1959: 34). Многие ученые стали последователями Больцмана (для ознакомления см.: *Ibid.*: 34ff.).

В отличие от звезд живые клетки добывают материю и энергию из окружающей среды и перерабатывают их при весьма умеренных температурах и давлении, одновременно используя очень сложный молекулярный механизм. Кроме того, все биохимические составляющие, произведенные клетками, можно сказать, служат собственному выживанию и/или выживанию всего организма в целом. Таковы основные различия между физическими и биологическими формами организации сложных систем. Все живые организмы существуют благодаря унаследованной информации, или своего рода программы. Поэтому я предлагаю определять жизнь как «режим, содержащий наследственную программу определения и управления молекулярными механизмами, которые активно извлекают материю и энергию из окружающей среды, преобразуя ее в структурные элементы для поддержания своей собственной жизнедеятельности и, если возможно, воспроизведения».

Возникновение жизни

Мы не знаем, как и когда впервые возникла жизнь. Утверждения о том, что самые ранние признаки жизни появились около 3,8 млрд лет назад, были недавно оспорены. Но доказательства того, что земной жизни примерно 3 млрд лет, остаются бесспорными. Учитывая, что Земля сформировалась около 4,8 млрд лет назад, можно предположить, что образованию ранней жизни мог предшествовать (однако не обязательно) долгий период физической и химической эволюции. Мы также не знаем, сформировалась ли жизнь на Земле стихийно или же попала на нашу планету с каким-то небесным телом, случайно оказавшимся в нашей атмосфере. Если жизнь действительно родилась где-то во Вселенной, мы не знаем, где, когда и как это произошло.

Но если жизнь все-таки возникла на нашей планете (а это наиболее вероятно), тогда ее появлению должен был предшествовать длительный процесс развития сложной физической системы на поверхности Земли. Этот процесс обычно называют химической эволюцией. Под воздействием потоков энергии, подобных солнечному свету, активности вулкана, молний и, возможно, радиоактивного распада, формировалось все больше сложных молекул. В определенный момент активизировался процесс спонтанной самоорганизации, ведущий к образованию жизни. Далее механизм есте-

ственного отбора Дарвина стал работать как фильтр, позволяющий здоровым организмам производить больше и/или более качественное потомство, чем остальным. Начался отбор организмов, которые способны эффективнее использовать материю и энергетические потоки окружающей среды и одновременно не стать источником материи и энергии для других организмов.

Живые организмы на раннем этапе вполне могли питаться продуктами, образовавшимися в результате химической эволюции. Какое-то время им хватало этого количества энергии и материи для выживания и, возможно, воспроизводства. Однако с течением времени живые организмы стали потреблять больше продуктов химической эволюции, чем успевало сформироваться. В долгосрочной перспективе, следовательно, химическая эволюция не могла бы обеспечить продолжительное существование живых организмов. Ранние живые организмы, возможно, извлекали материю и энергию также из подводных вулканов, так называемых черных курильщиков. Такие случаи можно наблюдать сегодня, и вполне вероятно, что можно было видеть на протяжении всей истории жизни на Земле. И до тех пор, пока черные курильщики продолжали дымить и никаких серьезных катаклизмов не возникало, развитие жизни в таких местах было гарантировано.

С самого начала возникновения жизни наличие достаточного количества воды было абсолютным условием ее непрерывного существования. Без нее, возможно, не существовали бы материя и потоки энергии, необходимые для поддержания жизни. Вплоть до сегодняшнего момента распределение воды на нашей планете определяет граничные условия для тех областей, где могут развиваться жизнь и культура. Это дает основания предполагать, что жизнь зародилась в океанах, особенно учитывая тот факт, что общая концентрация соли в клетках очень схожа с концентрацией соли в современных океанах (и, вероятнее всего, была такой же в древних океанах). На первых этапах развития концентрация соли в первых клетках не могла разительно отличаться, поскольку это привело бы к увеличению разницы энергии, которая практически немедленно разрушила бы ранние организмы. С течением времени, особенно после того, как живые организмы стали выходить из воды на землю, разница энергий увеличивалась. В результате должны были выработаться механизмы, способные защитить клетки от этой новой, враждебной окружающей среды.

Ранние формы жизни на Земле были относительно простыми и поэтому могли справляться только со сравнительно спокойными потоками энергии. Тем не менее эти организмы, по всей видимости, были также довольно крепкими, поскольку существовали в условиях гораздо более высоких энергетических уровней и потоков, чем те, с которыми имеют дело современные организмы. Температуры были выше; радиоактивность и активность вулканов – намного больше, чем в настоящее время. Кроме того, Землю бомбардировали метеориты разных размеров. Понятно, что ранние формы жизни, скорее всего, были приспособлены к этим обстоятельствам с самого начала.

Возрастание сложности

Живые организмы – это режимы, которые поддерживают относительно устойчивое состояние. Эта сравнительная стабильность на протяжении нескольких миллиардов лет предоставила достаточно времени для формирования многих видов более сложных систем как внутри клеток, так и среди них. Мало чем отличаясь от «кирпичиков» большинства физических режимов, структурный набор жизни в большинстве случаев состоит главным образом из сфер, клеток. Это является результатом не силы притя-

жения, а того факта, что молекулы, которые образуют оболочки клеток, притягиваются друг к другу и в результате вызывают поверхностное натяжение. Так как сила притяжения не играет решающей роли в формировании и жизнеобеспечении клеток, их внутренние компоненты становились все более сложными.

На определенном этапе развития отдельные клетки начали взаимодействовать друг с другом в процессе использования материи и энергии. Некоторые из таких клеток могли приспособиться к другим настолько, что становились взаимозависимыми, оставаясь при этом биологически автономными. Такое межвидовое разделение труда, возможно, наиболее распространенная форма кооперации. Другие клетки, вероятно, соединились в большие комплексы, которые привели к формам внутриклеточного разделения труда. Такие клетки возникли предположительно 2 млрд лет назад. С течением времени это привело к появлению более сложных эукариотных клеток, которые могли справляться с большим количеством материи и более крупными энергетическими потоками, чем их скромные родственники, прокариотные организмы.

В эукариотных клетках ядро служит хранителем наследственной информации. Органоиды типа митохондрий участвуют в метаболизме энергии, в то время как хлоропласты используют солнечный свет и преобразовывают его в энергию. Поскольку эукариотные клетки стали более универсальными в результате внутриклеточного разделения труда, они превратились в структурные элементы системы более высокого уровня. Тем не менее многие организмы оставались маленькими и сравнительно простыми. Это те микроорганизмы, которые известны нам сегодня. В результате древо жизни становилось все более разветвленным за счет роста численности и видов организмов.

Другим способом формирования нового уровня сложности было увеличивающееся взаимодействие клеток с одинаковым генетическим кодом. В определенный момент такие клетки начали группироваться. Это могли делать и прокариоты, и эукариоты. Но с течением времени только эукариотные клетки приобрели способность к взаимодействию и разделению функций. Я называю этот последний процесс межклеточным разделением труда, в результате которого клетки в пределах единого целостного организма начали различаться. Это открыло путь к более высокому уровню сложности. Сила отбора, управляющая этими процессами, заключалась в новых возможностях разделения труда, которые предполагали улучшенные способы извлечения и использования материи и энергии. Впоследствии начали появляться новые живые организмы более сложных форм. Сила притяжения, однако, продолжает определять максимально возможные размеры и формы живых организмов. Неслучайно самые крупные живые организмы развивались в океанах (см. прим. ред. 26), где выталкивающая сила и сила гравитации в значительной степени уравнивали друг друга.

Здесь мы видим главное различие между дифференцированием биологических и физических систем. Все более сложные формы живых организмов демонстрируют установление четких различий как форм, так и функций своих биологических режимов. Среди физических режимов, напротив, наблюдается изменение форм, но не функций. Галактики, например, состоят из множества различных объектов. Но нельзя сказать, что звезды и прочие тела, из которых состоят галактики, активно реализуют функции взаимодействия в целях поддержки существования и процветания галактик (см. прим. ред. 27).

Мы не знаем, насколько стабильны микроорганизмы в плане эволюции. Есть некоторые намеки на большую устойчивость. Например, в прибрежных водах западного побережья Австралии на протяжении примерно 3 млрд лет могли существовать так называемые строматолиты. По существу, строматолиты – это скопления микроорганизмов. Отдельные клетки, живущие в океанах, также могли устоять перед изменениями, потому что окружающая среда вряд ли сильно изменилась за последние 3 млрд лет. Другими

словами, сравнительно устойчивая материя и энергетические потоки в окружающей среде могли вызвать относительно небольшие эволюционные изменения.

Однако случайная эволюция, вызванная беспорядочными изменениями в генетической программе, которая оказалась выгодной в плане выживания (или по крайней мере не сказалась отрицательно), приводила к постоянному росту разнообразия организмов, особенно когда изменялась окружающая среда. Фактически сам процесс эволюции тоже изменил окружающую среду, которая в свою очередь способствовала появлению новых видов. Цепь замкнулась, это, возможно, значительно ускорило процесс становления и развития. Как правило, чем больше энергии биологический вид может получить из окружающей среды, тем более сложным он становится, и наоборот.

Использование новых энергетических потоков

С течением времени живые организмы научились поддерживать свое существование и распространились по всему свету, включая территории, которые не изобиловали свободными химическими продуктами. Это могло произойти благодаря эволюции микроорганизмов и – позднее – растений, которые теперь могли поглощать солнечный свет. Эта энергия была использована для объединения атомов углекислого газа и воды в огромное количество органических веществ, которые стали строительными блоками для живых организмов. Мы не знаем, как живые организмы научились использовать солнечный свет в своих собственных целях. Но определенно, владение этим навыком легло в основу формирования всех будущих сложных биологических систем.

Во время этого процесса, названного фотосинтезом, происходило выделение свободного кислорода. Возможно, потребовалось около двух миллиардов лет, но в конечном итоге это привело к образованию обогащенной кислородом атмосферы. В дальнейшем внутреннее сжигание органического вещества посредством дыхания и с помощью атмосферного кислорода стало главным источником энергии для животных. Так, позднее фотосинтез стал обеспечивать выработку большей части энергии, необходимой для биологической эволюции. Богатая кислородом атмосфера способствовала формированию стратосферного озонового слоя, который стал защищать живые организмы от ультрафиолетового излучения. До этого момента поток энергии солнечного света подавлял развитие сложных биологических систем на Земле. Теперь впервые за все время живые организмы могли покинуть свою защитную водную среду и приступить к заселению всей планеты.

В результате развития богатой кислородом атмосферы возник другой, новый тип потока энергии. Прежде всего он обеспечил энергией водные и наземные организмы, которые не участвовали в процессе фотосинтеза. К тому же (возможно, это даже важнее) открылась возможность появления более крупных и сложных многоклеточных организмов. Это стало реальным благодаря тому, что кислород мог поступать к клеткам, которые не сообщались напрямую с внешним миром. Таким образом, они могли участвовать в процессе использования энергетических потоков. Для организмов, которые не могли справиться с появлением обогащенной кислородом атмосферы и связанным с этим увеличением потока энергии, было два выхода. Первый – ограничить места своего обитания районами, где концентрация кислорода оставалась достаточно низкой, такой, с которой они могли справиться. Второй – исчезнуть.

Общая тенденция была ясна: чем сложнее становились биологические режимы, тем больше материи и потоков энергии они могли поглощать. Очевидно, с течением времени в процессе биологического развития возникли такие сложные структуры, которые могли справляться со все более и более мощными потоками материи и энергии и, по крайней мере какое-то время, не разрушаться от их воздействия (из личной пе-

реписки с Д. Кристианом, 2003 г. – Ф. С.). Ценой, которую пришлось заплатить за сложность более высокого уровня, стала растущая уязвимость к изменениям условий. Огромные потоки материи и энергии, вызванные вулканическими извержениями, и столкновение с внеземными объектами могли повлечь за собой смерть более сложных организмов. В таких условиях менее сложные формы, казалось, имели больше шансов выжить. Вследствие этого продолжительность жизни более сложных разновидностей в целом уменьшилась. Другими словами, чем сложнее становились организмы, тем быстрее они вымирали. В конечном счете стало расти число видов с небольшой продолжительностью жизни, представляющих собой более высокие уровни сложности.

Кембрийский взрыв жизни

Примерно 540 млн лет назад вышеупомянутые события привели к так называемому кембрийскому взрыву сложных форм живых организмов. Внезапно возникло множество разнообразных многоклеточных организмов; их строение отличалось большим многообразием органов, которые стали выполнять отдельные функции, обеспечивающие выживание и процветание всего организма. Это привело к возникновению сложных типов живых организмов, известных нам сегодня.

Кембрийский рост разнообразия мог быть вызван внезапными изменениями энергетических потоков и уровней на поверхности Земли. По-видимому, прямо перед кембрийской эрой поверхность Земли практически полностью замерзла. Это строго ограничивало пространство для земной жизни и, вероятно, вытеснило многие организмы и даже целые разновидности. Когда по все еще не известным причинам началось глобальное потепление, внезапно образовалась новая огромная экологическая ниша, которую смогли освоить более удачливые выжившие организмы и их потомство (Walker 2003).

Во время кембрийского взрыва возникли две основные разновидности сложных организмов, которые существуют вплоть до сегодняшнего дня. С одной стороны, это предшественники современных растений. Они поглощают энергию солнечного света и получают необходимые химические элементы из почвы или воды. За некоторым исключением такие организмы не питаются другими организмами. Поскольку им не нужно преследовать и добывать пищу, у них отсутствует мозг. Некоторые виды растений активно вовлечены в процесс добычи энергии. Они стремятся располагаться там, где условия для получения необходимого количества солнечного света наиболее благоприятные. С той же целью функционируют прекрасно отлаженные механизмы фотосинтеза и производства пигментов. Согласно Эрику Чейсону, современные растения справляются с *плотностью потока энергии*, равной примерно 0,09 Вт/кг (Chaisson 2001: 139).

С другой стороны, это животные – особи, в основном питающиеся другими организмами, то есть присваивающие энергию и материю, аккумулированную другими организмами. Хищники используют такую энергию для собственной жизнедеятельности, тем самым они представляют большую угрозу для более слабых животных, тех, которые могут быть съедены. Следовательно, в процессе развития живые организмы стали как более созидательными, так и разрушительными.

Поскольку животным необходимо питаться растениями и/или другими животными, им требовался интеллект для целенаправленной ориентации в пространстве. Они нуждались в оружии для захвата своей добычи и в подходящих пищеварительных органах для ее поглощения. Как следствие, животные учились эффективнее добывать и материю, и энергию. Это означало, что их *плотность потока энергии* возростала. По расчетам Эрика Чейсона, *плотность потока энергии* современных животных дос-

тигла порядка 2 Вт/кг (Chaisson 2001: 139). В результате животные также стали важными потенциальными источниками материи и энергии для других организмов. Чтобы выжить, они должны были усовершенствовать способы своей защиты. Растения тоже начали защищаться от хищников, например с помощью выработки токсинов. Конечным результатом стало появление более сложного биологического режима, состоящего из большего числа разнообразных организмов. В пределах этого постоянно меняющегося режима использовались все более разнообразные материя и потоки энергии. Этот постоянный поиск необходимой для выживания и обеспечения жизнедеятельности материи и энергии является ключевым фактором, определяющим биологическое развитие вплоть до сегодняшнего момента.

Развитие биологической системы ликвидации отходов было абсолютным предварительным условием продолжительного существования жизни на этой планете. Без нее живые организмы давным-давно утонули бы в своих собственных отходах. Возникает вопрос: являлось ли появление биологической системы устранения отходов неизбежным условием успешного развития жизни на нашей планете? Весьма вероятно, что где-то во Вселенной живые организмы получили толчок к развитию, но в итоге утонули в собственных экскрементах. Здесь мы видим еще одно большое отличие от физических режимов. Хотя Вселенная в целом функционирует как огромная энтропийная корзина, галактики, звезды и планеты никогда не избавлялись от мусора самостоятельно.

Разумные животные

Не случайно именно у животных, сочетающих характеристики травоядных и хищников, развился самый большой и сложный на настоящий момент мозг, и они заняли доминирующее положение в мире. Ведь люди могли использовать материю и энергетические потоки, вырабатываемые и растениями, и животными. Тайной человеческого успеха стал мозг, который в огромной степени помог облегчить процессы коммуникации, координации и адаптации поведения человека, включая использование инструментов. Особое развитие человеческого мозга могло стать результатом многих, возможно, не связанных между собой геологических и биологических изменений, и все же тенденция этой эволюции ясна – развитие вида с более крупным и сложным мозгом, позволяющим эффективнее использовать материю и потоки энергии.

В животном мире человеческий мозг является самым сложным из всех, и он использует большое количество энергии. Магистретти и др. (Magistretti *et al.* 2000) вычислили, что «хотя мозг составляет только 2 % массы тела, он получает 15 % выбрасываемой сердцем крови, 20 % всего кислорода, который потребляет организм, и 25 % всей использованной телом глюкозы». Согласно Эрику Чейсону (Chaisson 2001: 139), в то время как средняя *плотность потока энергии* тела человека равна приблизительно 2 Вт/кг, *плотность потока энергии* человеческого мозга составляет 15 Вт/кг. Это колоссальное потребление, вероятно, имело некоторые преимущества. Естественный отбор позволил бы человеческому мозгу развиваться только в том случае, если бы это облегчило нашим предкам добычу материи и энергии, достаточных для выживания и, возможно, воспроизводства. И люди размножились, несмотря на тот факт, что не обладали другими важными биологическими средствами самозащиты типа рогов, копыт или яда. До сих пор энергия, накопленная с помощью более крупного и сложного мозга, явно перевешивала большое потребление энергии, которое требовалось для поддержания функционирования мозга.

Мозг управляет сложной системой, которая обладает, по крайней мере в идеале, высокими адаптивными способностями. Это делает разумных животных гораздо более адаптивными и потому более ловкими по сравнению с живыми организмами, ко-

торые не наделены такими способностями. В общественных науках эту систему называют *культурой*. Благодаря культуре с ее сложнейшими формами коммуникации люди постепенно приспособили в равной степени и себя к окружающей среде, и окружающую среду к себе. Среди других на это обратили внимание социолог Норберт Элиас (Elias 1978) и историк Уильям Х. Макнил (McNeill 1991; 1992: VII–XIII). Позднее Дэвид Кристиан охарактеризовал этот процесс термином *коллективное обучение*. По мнению Кристиана, коллективное обучение необходимо людям так же, как остальной природе необходим естественный отбор (Christian 2003; 2004).

Культура и энергия

Согласно концепции, рассматриваемой здесь, культурные режимы – это коллективная реакция на проблемы, с которыми сталкиваются люди. Однако, вероятно, следует задать вопросом: есть ли практический результат в решении этих проблем? Опираясь на подход Лесли Уайта к культуре как способу получения большего количества энергии, канадский эколог Вацлав Смил резюмировал: «С точки зрения естествознания как доисторическое развитие человечества, так и дальнейший ход истории могут рассматриваться по большому счету как поиск путей управления большими энергетическими запасами и потоками» (Smil 1994: 1).

Возможно, этот подход не пользуется популярностью среди социологов. Конечно, человеческое поведение намного сложнее и разнообразнее, нежели просто потребление энергии. Я этого не отрицаю. Но вслед за Лесли Уайтом, Марвином Харрисом, Джереми Рифкином, Вацлавом Смилом, Дэвидом Кристианом, а также другими учеными я утверждаю, что на протяжении большей части, если не всей, истории человечества поиск материи и энергии, достаточной для выживания и возможного воспроизведения, был ключевой проблемой. И причина того, что люди смогли использовать материю и потоки энергии гораздо более эффективно, – в их поведении, основанном на культурном знании. Материя и энергетические потоки, которыми люди научились управлять, не должны были быть ни слишком большими, поскольку человечество могло погибнуть от их действия, ни слишком маленькими, так как они оказались бы неспособными поддерживать человеческую жизнь. Как я и утверждал, это справедливо не только для истории человечества, но и для Большой истории в целом.

Все человеческие усилия, направленные на получение материи и энергетических потоков, неизбежно приводили к возникновению энтропии. Если низкий уровень излучения, возникающий в результате человеческой деятельности, мог сравнительно легко исчезать в космической мусорной корзине, то проблему потоков материи это не решало. В итоге в результате продолжающейся человеческой деятельности на поверхности Земли неминуемо росла материальная энтропия.

Появление первых людей

Примерно 3–4 млн лет назад на территории, где энергетические условия характеризовались узким диапазоном, появились первые ранние люди (см. прим. ред. 28). Климат восточноафриканских саванн довольно умеренный. Весь год температуры колебались между 20 и 30 °C. Это не сильно отличается от средней температуры человеческого тела, так что первобытным людям не приходилось защищаться от высоких или низких температур. Кроме того, атмосферное давление в восточноафриканских саваннах довольно умеренное, в среднем приблизительно 0,9 атмосфер. В таких условиях первобытные люди могли поддерживать *плотность потока энергии* на уровне приблизительно 2 Вт/кг (Cook 1971: 136)⁶.

⁶ Кук приводил свои данные в килокалориях в день на человека. Чтобы сравнить их с данными Эрика Чейсона в 10⁻⁴ Вт/кг, необходимо ввести коэффициент пропорциональности. Допустив, что средний вес тела

Древнейшие орудия производства, сделанные руками человека (те, которые можно признать таковыми), относят к периоду примерно 2,5 млн лет назад. Очевидно, к тому времени первобытные люди нашли способ увеличить количество получаемой материи и энергии, используя свои руки, включая развитие отдельно располагающегося большого пальца, который позволял им проявлять большую сноровку. Следовательно, естественный отбор, направленный на увеличение добычи материи и энергии (включая защиту и нападение), возможно, способствовал всестороннему развитию рук, способных выполнять различные задачи, в том числе изготавливать и использовать орудия труда.

Согласно голландскому астроному Антону Паннекоеку (Pannekoek 1953), создание и использование инструментов, по всей видимости, также привело к одновременному развитию языка и мышления. Это благоприятствовало отбору более крупного и сложного мозга, который в свою очередь способствовал более эффективному использованию орудий. Со временем этот процесс с обратной связью позволил первобытным людям увеличить количество потребляемой материи и энергии. Возможно, неслучайно уже по прошествии примерно 500 тыс. лет после появления первых известных орудий в Африке появились два новых вида человека с гораздо более сложным мозгом: сначала *Homo habilis* (человек умелый) и немного позже – *Homo erectus* (человек прямоходящий) (см. прим. ред. 29).

Овладение огнем

Если оба новых вида использовали орудия труда, то *Homo erectus* к тому же начал использовать огонь. *Homo erectus* был первым человеческим видом, который покинул Африку и расселился на территории Евразийского континента. Эти люди научились приспосабливаться к различным климатическим условиям и адаптировались в зонах с температурами от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом по крайней мере 1,5 млн лет им удавалось добывать необходимые для жизни и воспроизведения материю и энергию. Владение огнем на ранних этапах развития позволило людям целенаправленно выжигать участки земли, чтобы содействовать развитию одних растений и уничтожать другие. Это также позволило отпугивать хищников. Кроме того, овладение огнем облегчило охоту на крупных животных и расчистку лесов под пастбища для диких животных. Таким образом, получив контроль над огнем, люди также получили возможность в течение длительного времени изменять облик Земли. В процессе этих изменений они могли в огромной степени влиять на биологические и физические режимы планеты. Медленно, но верно те, на кого охотились, становились охотниками, и растущая разница сил между первобытными людьми и другими высшими животными складывалась в пользу древних людей (Gamble 1995: 66–70; Goudsblom 1992; Pyne 2001). Люди перестали быть преимущественно собирателями и стали охотниками. Благодаря варке, жарке и другим способам обработки продуктов им стала доступна более разнообразная пища и, следовательно, новые источники материи и энергии.

Подобно тому, как до этого делали другие формы живых организмов, но гораздо активнее, чем их предшественники, первобытные люди приступили к созданию своего собственного микроклимата, который способствовал сохранению их сложности. Все это указывало на начало долгого процесса приспособления окружающей среды согласно желаниям и намерениям людей. В частности, современные люди, *Homo sapiens*, кото-

на протяжении всей истории человечества составлял около 40 кг (считая вместе детей и взрослых), я под- считал, что для того, чтобы преобразовать данные Кука в 10^{-4} Вт/кг, их нужно умножить приблизительно на 10^4 . В результате получается 2 Вт/кг для первобытных людей, что удивительным образом соответствует расчету (средней) плотности потока энергии Эрика Чейсона для животных (2 Вт/кг).

рые могли появиться приблизительно около 200 тыс. лет назад, начали расселяться фактически во всех частях земного шара (за исключением полюсов). Если рассматривать людей как животных, это было невиданным достижением: отчасти это касается разнообразия окружающей обстановки, к которой они смогли адаптироваться, отчасти – скорости данного процесса. Это означало, что люди начали добывать материю и энергию почти во всех частях населенного мира, включая высокие горы, где атмосферное давление не превышало 0,6 атмосфер. По данным расчетов Кука (Cook 1971: 136), *плотность потока энергии* более поздних охотников-собирателей составляла примерно 5 Вт/кг. Она была достигнута главным образом благодаря овладению огнем. С ростом численности человеческого населения росло общее потребление человеком материи и энергии.

Неясно, в какой степени это увеличение *плотности потока энергии* повлияло на рост потребления пищи. Вполне возможно, что большая ее часть использовалась для создания или разрушения сложных систем за пределами человеческого тела. Это положило начало новой тенденции – люди стали тратить большее количество энергии для создания или разрушения внешней сложности. Эта тенденция существует по сей день. Как следствие, использование показателя *плотности потока энергии* в контексте истории человека становится проблематичным, поскольку она учитывает физический вес человека и не учитывает внешнюю массу, которая несет энергетические потоки, потребляемые людьми. Очевидно, люди никогда не смогли бы долго жить, ежедневно потребляя объем энергии, превышающий 4000–5000 килокалорий, что соответствует приблизительно 4–5 Вт/кг. Более мощные уровни потребляемой людьми энергии вряд ли могли бы проходить через их тела, не разрушая их. В результате дальнейшее увеличение потоков энергии должно происходить с поступлением внешней материи. Поскольку я не располагаю цифрами, насколько велики были такие внешние массы, я до сих пор не могу внести достоверные поправки. Поэтому все *показатели плотности потока энергии* в истории человечества, о которых пойдет речь ниже, должны рассматриваться с должной осторожностью. Я рассматриваю их прежде всего как индикаторы основных тенденций, а не как решающее слово в вопросе энергетических потоков.

Не совсем ясно, в какой степени потоки материи и энергии, потребляемые первобытными людьми, были иногда слишком большими или слишком малыми. Могло случиться так, что разведенный первобытными людьми костер выходил из-под контроля и мог их погубить. Люди могли также поселиться там, где в результате использования человеком либо вследствие изменения климата или стихийных бедствий добываемых ресурсов стало недостаточно для выживания первобытных людей. Невероятно трудно, если вообще возможно, собрать подобную информацию по материалам ископаемых останков, в любом случае количество их очень ограничено.

Появление современных людей, возможно, привело к уменьшению сложности [некоторых. – *Ред.*] экологических систем. Прежде всего продолжительное горение равнин и лесов могло привести к изменению их биологического состава. В результате некоторые виды вымерли, а другие продолжали успешно развиваться. Мне неизвестно, привело ли использование человеком огня к появлению каких-то новых видов. Современные люди, возможно, также истребили множество крупных животных, особенно на незаселенных прежде территориях, например в Австралии и Америке. На сегодняшний момент неясно, что послужило первопричиной такого вымирания: изменение климата и/или болезни. Тем не менее поразительно, что спустя несколько тысяч лет после появления людей на новых территориях большинство крупных животных исчезло с поверхности Земли. На самом деле это могло бы послужить примером упадка сложности [некоторых. – *Ред.*] экологических систем, вызванного человеческой деятельностью.

Одомашнивание растений и животных

Любопытно, что развивающиеся умения человека, как и способность к коммуникации, познанию и запоминанию, не привели к быстрым значительным изменениям способов добычи материи и энергии, которыми пользовался *Homo sapiens*. Безусловно, в период между 200 тыс. лет назад и 10 тыс. лет назад современные люди сделали производство более эффективным, но не изменили его коренным образом. Очевидно, способность к созданию культуры или коллективному изучению была наиболее важной предпосылкой к одомашниванию растений и животных, но не прямой первопричиной. Приблизительно 10 тыс. лет назад, однако, наши предки открыли новые способы добычи материи и энергии из окружающей среды. Медленно, но верно они начали управлять процессом размножения растений и животных, которых считали полезными. В результате люди научились более эффективно управлять энергией и материей, поступающей по биологической пищевой цепи. Это сигнализировало о второй великой трансформации экологического режима: переходе к земледелию.

Как мы уже видели, согласно данным Кука (Cook 1971: 136), *плотность потока энергии* охотников-собирателей достигла приблизительно 5 Вт/кг. Первые земледельцы, для сравнения, потребляли примерно 16 Вт/кг. А у более удачливых земледельцев и скотоводов этот показатель поднялся еще выше и достиг более 26 Вт/кг, то есть стал в пять раз больше. Это не означает, что земледельцы питались больше или лучше, чем собиратели и охотники. Со временем чаще происходило обратное. Увеличивающаяся *плотность потока энергии* земледельцев указывает на тот факт, что эти люди управляли большими потоками энергии, с тем чтобы произвести достаточно продуктов и других необходимых им материальных средств.

Условия, в которых сельское хозяйство могло процветать, были ограничены в большей степени, чем те, в которых существовали собиратели и охотники. Хотя давление и температуры были, по всей вероятности, практически такими же, снабжение достаточным количеством воды имело гораздо большее значение, в результате чего даже сегодня сельское хозяйство не так распространено на Земле, как собирательство и охота в то время. Кроме того, выращивание рыбы в морях и океанах стало развиваться совсем недавно. Главным образом проблема заключалась в контроле над популяцией рыб, хотя уловы до недавнего времени часто были обильными.

Вокруг вопроса о том, где и как произошла аграрная революция, шла активная научная дискуссия⁷. Даже на сегодняшний момент причины этой важнейшей трансформации не совсем понятны. Изменение климата – конец последнего ледникового периода – и растущее демографическое давление внесли свой вклад в развитие аграрного образа жизни. Но каковы бы ни были причины, следствия ясны. В результате более эффективного производства пищи выживало и размножалось все большее число людей. И так было везде, где прижился аграрный режим. Другими словами, большая часть новой материи и энергии обратилась в рост численности людей. В итоге возникли движущие силы, которые привели к устойчивому распространению аграрного режима везде, где это возможно (White 1959: 45–57).

Со временем это привело к уменьшению запасов материи и энергии, которую могли использовать оставшиеся дикие растения и животные. Они стали быстро маргинализироваться, а некоторые даже вымерли. И поскольку аграрные общества пользовались более интенсивными потоками материи и энергии, они стали доминировать над древней системой охотников-собирателей. Как и неодомащенные растения и животные, этот первый

⁷ См., например: Mears 2001; Christian 2004.

человеческий режим был также отброшен туда, куда не смогли добраться земледельцы и пастухи. Сегодня все настоящие режимы охотников-собирателей полностью исчезли.

Хотя аграрные общества больше преуспели в аккумуляции потоков материи и энергии, чем собиратели и охотники, это вовсе не означало, что члены этой группы были более зажиточными. В результате спустя какое-то время могло случиться так, что средний крестьянин вполне мог получать меньшее количество калорий, чем его предок во времена охоты и собирательства. Люди начали создавать все более разнообразные предметы, в том числе усовершенствованные дома, склады, керамику, предметы искусства и памятники, придавая им формы, не существовавшие прежде, во времена уже известной истории Вселенной. Другими словами, начался период «чайной чашки». При создании всех новых форм преследовалась одна цель: сохранение форм сложности, которые люди считали желательными. В результате первобытные люди также начали производить больше энтропии.

Можно провести некоторые поразительные параллели между периодом развития сложных форм жизни в биологической эволюции и аналогичной фазой в истории человечества. Растущая взаимозависимость клеток, из которых состоят многоклеточные организмы, и их межклеточное разделение труда сравнимы с растущей взаимозависимостью людей и социальным разделением труда. В обоих случаях в результате увеличения потребления материи и потоков энергии они стали одновременно и более конструктивными, и более разрушительными. Сходство проявляется и в том, что с ускорением развития как биологических, так и человеческих нововведений продолжительность жизни и живых организмов, и культурных режимов уменьшалась.

Образование раннего государства

Переход к аграрному режиму повлек за собой социальные изменения. Поскольку люди были более привязаны к земле, которую обрабатывали, они стали жить ближе друг к другу и собираться в более крупные группы. Это привело к развитию социального разделения труда. Тем не менее эти общества, в значительной степени основанные на родстве, оставались сравнительно эгалитарными. Безусловно, с течением времени аграрные общества стали более иерархическими. Но пока мест для переселения было достаточно, никакая влиятельная группа не могла долго доминировать над другими.

Спустя примерно 5 тыс. лет в результате аграрной революции произошла самая важная трансформация социального режима – появились государства. В самом простом понимании государство – это социальный режим, чья элита смогла монополизировать важные средства насилия, по крайней мере те, которые позволили ей доминировать в государстве. В конечном счете это означало, что она использовала потоки материи и энергии и препятствовала другим в их получении. Это неизбежно привело к возникновению системы обложения налогами: к передаче потоков материи и энергии, произведенных другими. Формирование раннего государства означало, что впервые в истории люди начали систематически эксплуатировать других людей как источник энергии и материи. В центрах ранних государств это привело к росту уровня культурной сложности, в то время как независимые местные формы сложных обществ приходили в упадок.

Роберт Карнейро (Carneiro 1970) отмечал, что все ранние государства появились в экологически сложных географических условиях: обычно в плодородных речных долинах, окруженных засушливыми территориями, главным образом пустынями. Другими словами, это были регионы, где добыча материи и энергии осуществлялась сравнительно легко, но окружены они были территориями, где возможности для этого были ограничены. Такое положение позволило людям, успешно манипулирующим

огромными потоками материи и энергии, доминировать над их более слабыми товарищами. В результате растущего неравенства и сопутствующего социального разделения труда потоки материи и энергии в пределах обществ и между ними стали сложнее. Здесь мы не можем рассмотреть тему детально, но в целом ясно, что в этих новых социальных режимах впервые возник вопрос о том, кто будет выполнять задачу по добыче энергии и материи, разрабатывать их и хранить; и последний, но не менее важный вопрос: кто будет иметь доступ к результатам всего этого труда? Как и в случае с биологическим развитием, существовало несколько основных стратегий: использование дезинформации, кражи и применение силы. Вероятно, эти стратегии встречались во все времена. Однако во время формирования государства они были заметнее и лучше организованы. С тех пор человечество потратило немало энергии на развитие этих стратегий и борьбу с ними.

Все это требовало новых способов хранения информации. До этого времени большая часть культурной информации хранилась в памяти отдельных людей. Однако с появлением ранних государств люди изобрели системы записи информации с помощью материальных средств – от глиняных дощечек до шерстяных веревок. Это позволило им увеличить потребление энергии и материи. Навыки письма фактически позволили эффективнее использовать информацию и дезинформацию. Поскольку для влиятельных слоев общества управление потоками информации приобретало особую важность, были потрачены огромные усилия, чтобы гарантировать их использование в собственных интересах и лишить остальных доступа к ним. В частности, круг лиц, имеющих разрешение на использование таких потоков информации, был ограничен привилегированными и часто строго контролируруемыми профессиональными группами, использовались секретные коды, была введена общественная пропаганда. И хотя на это потребовалось немало времени, распространение письменности в мире было неизбежно. В наше время, главным образом в результате развития мировой системы электронной коммуникации, мы стали свидетелями нового скачка значимости внешней информации и связанного с этим использования информации и дезинформации.

Поскольку государства становились крупнее и сложнее, их жители больше не узнавали друг друга в лицо. Чтобы поддерживать сплоченность государства, правителям приходилось расходовать большое количество энергии на формирование общей идентичности: сначала при содействии возникающих государственных религий, а затем с помощью государственной бюрократии, включая школы. То, что получалось в результате таких усилий, Бенедикт Андерсон называет «воображаемыми сообществами» (Anderson 1991). В большинстве ранних государств такая общая идентичность обычно выражалась в терминах символического родства с богами, царями и царицами, которые часто изображались как «отцы и матери» своих народов.

Некоторая часть новых потоков материи и энергии использовалась для строительства первых крупных зданий, чрезвычайно больших искусственных холмов, в частности пирамид. Для того, чтобы возвести первые архитектурные сооружения и преодолеть силу притяжения, использовалась сила человека и, возможно, физическая сила животных. С тех пор люди продолжают строить; хотя более поздние строения стали сложнее, они еще долго оставались такими же невысокими. Только в индустриальный период стало возможным строить более высокие здания. Тем не менее важнейшие достижения были сделаны во времена раннего государства. Это касается ограничения воздействия сил гравитации. Вид более мелких искусственных объектов (таких как чайные чашки), конечно, меньше зависел от силы притяжения. В результате они были более разнообразными.

Образование государства не являлось трансформацией экологического режима. Не были открыты новые методы извлечения материи и энергии из окружающей среды.

Конечно, были сделаны некоторые изобретения, одни менее важные, другие – более (в основном это касается все более распространяющегося использования энергии ветра и воды – оба вида произошли из солнечной энергии). Где-то люди начали добывать уголь и другие горючие вещества. И все же вплоть до индустриальной революции способы извлечения из окружающей среды и использования энергии и материи в производственных целях практически не изменились.

Напротив, способы и техника, которые облегчили присвоение материи и энергии, принадлежащих другим людям (прежде всего это касается армии и оружия), испытали революционные изменения. Начался новый виток социального соревнования, который привел к росту и расширению государств за счет независимых земледельцев, скотоводов и охотников-собирателей. Прошло примерно 5 тыс. лет, прежде чем процесс (практически) завершился, однако в результате государства начали распространяться по всему миру. Безусловно, долгое время племенные общества, обладающие достаточной разрушительной силой – монголы, вероятно, самый яркий пример, – все еще могли подчинять себе некоторые государства. Но, оставаясь у власти, захватчики не могли долго сохранять свой племенной статус и одновременно доминировать в государственном обществе. Если завоеватели хотели укрепить свою власть, они были вынуждены принимать образ жизни сложных обществ, которые они завоевали.

Глобализация

На мой взгляд, глобализация – результат международного разделения труда. Следовательно, глобализация – это трансформация социального режима. Глобальное разделение труда – это дело рук людей, которых можно отнести к среднему классу. В отличие от традиционной элиты и крестьян появившиеся средние классы не были привязаны к земле. В результате они могли увеличить свои потоки материи и энергии только с помощью торговли, производства и завоеваний. Приблизительно 500 лет назад средние классы некоторых стран смогли освободиться от контроля своих традиционных правителей. Позже им удалось взять в свои руки управление государством: сначала в Республике Соединенных Провинций Нидерландов, потом в некоторых североамериканских колониях Британии, а затем повсюду в Америке и Европе. С начала XIX в. в результате индустриальной революции и повсеместного появления средних классов этот процесс приобрел особую движущую силу уже во всем мире.

Первая волна глобализации началась, когда европейцы научились использовать энергию ветра и океана для передвижения и перевозки грузов по всему миру. Впервые в истории человечества люди в течение жизни могли объехать весь земной шар. Европейцы в поисках прибыли ходили по всем морям и океанам на судах, оснащенных тяжелым оружием. Вскоре это привело к борьбе между Испанией, Португалией, Великобританией и Голландией за господство в Америке, Азии и Тихом океане. Как следствие, эти три огромные мировые территории слились в одно-единственное глобальное образование, в котором все большую роль играла Западная Европа.

Главным образом после того, как большая часть Америки была принудительно вовлечена в растущую мировую экономику и установлены (как мирными, так и военными способами) прямые международные торговые связи, стало оформляться мировое социальное разделение труда. Это привело к дальнейшей интенсификации потоков энергии и материи. В результате началось развитие глобальной культурной сложности. И напротив, новая материя и потоки энергии часто подавляли местные сложные формы культуры, которые погибали или маргинализировались.

После того, как европейцы твердо закрепились на Атлантическом побережье Северной Америки и перестали зависеть от потоков материи или энергии из Европы,

многие из них избавились от колониальных хозяев. Они провозгласили себя независимыми от Великобритании и образовали Соединенные Штаты Америки. Новым государством управляли состоятельные члены общества – лендлорды, а также люди, принадлежащие к среднему классу. Освободительное движение по эту сторону Атлантического океана придало огромный импульс Французской революции. Это задавало тон всем социальным изменениям в Европе. Однако, пожалуй, самые большие изменения произошли в Испанской и Португальской Америке. Завоевание французами Пиренейского полуострова ослабило контроль Испании и Португалии настолько, что в Центральной и Южной Америке средний класс смог скинуть гнет своих колониальных владельцев. Однако, к своему несчастью, вскоре его представители оказались во власти местных землевладельческих элит. В результате латиноамериканские средние классы до сих пор пытаются освободиться от их тисков.

Индустриализация

Третья великая экологическая трансформация – индустриализация – сильно укрепила эти тенденции, поскольку была основана на принципиально новых способах добычи энергии, используемой в производственных целях. До сих пор все машины приводились в действие либо силами человека и животных, либо энергией ветра и воды. Это были возобновляемые источники энергии. Однако использование ископаемых видов топлива (сначала угля, а затем нефти и газа) в производственных целях предполагало принципиально новые способы потребления потоков материи и энергии. Индустриализация, таким образом, стала главной трансформацией экологического режима. В результате различия внутри и между обществами стали колоссальными. В индустриальных обществах системы национальной культуры поднялись на новый уровень развития, в то время как большинство местных форм сложных культур приходило в упадок. В результате индустриализации культурные перемены не обошли и остальной мир.

Согласно новым данным Кука (Cook 1971: 136), *плотность потока энергии* в ранних индустриальных обществах составляла в среднем приблизительно 77 Вт/кг. Сегодня, для сравнения, более развитые технологические общества имеют в своем распоряжении около 200 Вт/кг или даже более. С другой стороны, хотя эти люди могут употреблять больше пищи, чем прежде, рост энергии происходит в основном за счет потоков внешней энергии. Индустриальные общества появились в умеренных зонах, где температура варьировалась от – 20 °С до + 30 °С. Давление воздуха составляло примерно одну атмосферу, а вода всегда была в изобилии. И хотя с тех пор многие процессы производства были перенесены в районы, где температура могла подниматься еще выше, интересно то, что другие условия не сильно изменились. На сегодняшний момент найдется немного производств в высокогорных или гористых местностях, а также в регионах, испытывающих недостаток воды. Другими словами, промышленность распространилась по миру не так широко, как сельское хозяйство (которое, в свою очередь, было распространено меньше, чем собирательство и охота). И, рискуя утверждать очевидное, замечу, что в отличие от охоты, собирательства и одомашнивания животных и растений промышленность все еще невозможно перенести в моря и океаны.

Вернемся к раннему этапу индустриализации. Контроль над новыми процессами производства позволил среднему классу стать самым богатым и влиятельным слоем общества. Фактически еще Маркс заметил, что буржуазия захватила власть в государстве. Стремясь получить контроль над государством, средний класс начал проводить кампанию за предоставление избирательных прав более богатым членам общества. Появившийся позднее рабочий класс настолько преуспел в самоорганизации, что смог получить доступ к демократии. Эти социальные изменения привели к появлению извест-

ных сейчас демократических государств. Процесс распространения демократических государств в мире сегодня происходит по той же самой причине – ввиду повсеместного развития среднего класса.

Поскольку изначально не все получили в равной мере доступ к новым потокам материи и энергии, силы в мире распределились очень неравномерно. В частности, индустриальные государства стали колонизировать огромные территории. После того, как практически весь мир, который можно было завоевать, был покорен, между новыми индустриальными странами развернулась борьба, которая вылилась в две мировые войны. Однако со временем районы, в которых успешно развивалась промышленность, стали беспрецедентно богатыми; сначала это касалось элит, а затем и значительной части простого народа. Очевидно, для элиты сохранять контроль над новыми потоками материи и энергии оказалось невозможным отчасти из-за того, что большая масса людей перебралась в города, где могла представлять прямую угрозу высшим слоям населения. А после того, как индустриализация коснулась сельского хозяйства и транспорта и возникла уверенность, что городское население всегда будет сытым, число людей, переезжающих в города, возросло. В результате появились первые мегаполисы, где проживали миллионы людей.

Повсеместное распространение промышленности, основанной на использовании ископаемых видов топлива, привело к беспрецедентному уровню глобального социального разделения труда и, таким образом, к росту уровня мировой сложности за счет местных и региональных сложных общественных систем. Хотя первым индустриальным государствам удастся сохранить свою мощь, молодые индустриальные страны все больше подрывают их позиции. Начиная с 1960-х гг. многие энерго- и трудоемкие производства стали перемещать туда, где производственные расходы ниже.

Еще более примечательно, что в XX столетии люди начали создавать чрезвычайно разнообразные микроклиматические условия для различных помещений. В холодное время года отапливались не только жилые дома, но и постройки для выращивания растений (оранжереи, теплицы). На следующем этапе создали холодный микроклимат для жарких сезонов. Стали использоваться холодильники, специализированные железнодорожные вагоны, грузовые автомобили и суда. Это позволило производить и транспортировать мясо и другие скоропортящиеся продукты в крупных объемах. Очередным шагом стало создание холодного и жаркого микроклимата в местах отдыха и развлечений, в том числе систем климат-контроля для домов и автомобилей, искусственных катков и лыжных спусков, плавательных бассейнов в тропическом стиле (что неудивительно, поскольку мы все еще остаемся тропическими животными). Исследование космоса и водных глубин подтолкнуло к созданию космических кораблей и скафандров, подводных лодок и аквалангов. Никогда еще в истории Земли организмы не создавали такое разнообразие искусственных микроклиматов.

В результате индустриализации население получило доступ к невиданному количеству разнообразных продуктов питания. Большинство людей стали меньше заниматься физическим трудом, чем прежде, особенно в тех обществах, где сектор обслуживания стал основным. В результате их средний вес увеличился. Верхние пределы усвоения потоков материи и энергии пока неизвестны, но в богатых обществах некоторые люди, кажется, уже предпринимают определенные попытки их достичь. В других регионах, напротив, огромное количество людей до сих пор борется с противоположной проблемой.

Индустриальные общества стали более мощными и в то же время более уязвимыми. Сейчас все индустриальные общества сильно зависят от сокращающихся запа-

сов энергии, основанной на ископаемых видах топлива. В долгосрочной перспективе пользоваться истощаемыми ископаемыми видами топлива можно будет только временно. Но вне зависимости от того, что произойдет в будущем, вплоть до сегодняшнего дня широкое использование ископаемого топлива позволило достичь того уровня развития мировой культурной сложности, о котором до настоящего времени нельзя было даже подумать, пусть даже ценой упадка более старых сложных форм местного и регионального уровней. Сегодня люди, материя, энергия и информация циркулируют в мире в беспрецедентных объемах.

Потребление людьми материи и энергии привело к росту энтропии материи на Земле в виде отходов жизнедеятельности. Даже учитывая возможное увеличение парникового эффекта, произведенное тепло все еще сравнительно легко может растворяться в космическом мусорном контейнере. Однако, в сущности, все материальные результаты человеческой деятельности останутся на этой планете. На протяжении почти всей истории люди, избавляясь от мусора, полагались на существующую биологическую систему уничтожения отходов. Но с началом индустриальной революции стало производиться все больше материалов, которые природа не могла переработать. Кроме того, по поверхности Земли теперь рассеяно больше материи, чем раньше. Возникает вопрос: смогут ли люди изобрести эффективную систему переработки мусора, и если нет, то каковы будут последствия?

В 1940-х гг. ученые в разных частях мира начали исследовать возможности открытия новых форм энергии, поскольку предполагали, что можно добывать новые, прежде невиданные по объему, потоки энергии. Использование ядерных бомб и позднее – мирной ядерной энергии показало, что они были правы. В терминах энергетических потоков энергия, которая освобождается в результате ядерного деления, – это часть накопленной на Земле (довольно ограниченной по объему) энергии, образованной в результате взрыва сверхновых звезд. Энергия слияния водорода, наоборот, произошла в результате Большого взрыва и хранится, как в копилке. Если бы люди нашли конструктивные способы использования потоков энергии, появившихся в результате нуклеосинтеза, то в будущем они открыли бы для себя огромные потоки энергии. Однако до сегодняшнего дня большая часть энергии, освобожденная в результате ядерного деления и слияния, использовалась деструктивно (см. прим. ред. 30).

Увеличение энергии, используемой людьми

Если данные, о которых мы упомянули выше, верны, то *плотность потока энергии* увеличилась с 2 Вт/кг, используемых первобытными людьми, до приблизительно 50 Вт/кг для современного человеческого общества в целом (Chaisson 1981: 139). Если это действительно так, то *плотность потока энергии* за всю историю человечества увеличилась почти в 60 раз. Тем не менее общий поток энергии, с которым люди имеют дело, увеличился значительно больше, поскольку численность населения в целом выросла с нескольких тысяч до более чем 6 млрд человек, то есть в миллион раз. Все потоки энергии, полученные людьми на протяжении всей истории, таким образом, увеличились примерно в 60 млн раз.

Хотя провести достоверный анализ потоков энергии в настоящее время трудно, большую их часть можно отнести к результатам потребления одомашненных животных и окультуренных растений, а остальную – к эксплуатации ископаемого топлива и ядерной энергии. В обоих случаях мы можем достичь верхних пределов доступных

энергетических потоков, которые можно с выгодой использовать. Более того, неясно, фиксированы ли эти пределы и не изменятся ли они в перспективе.

Заключение

Подводя итог, отметим, что история развития сложности во Вселенной начинается довольно скучно, сменяется более оживленным периодом развития сложных форм местного и регионального уровня, но постепенно ее потенциал иссякает и она становится совершенно неинтересной. Это непосредственно связано с тем фактом, что с самого начала Большая история демонстрировала стремление к более низким уровням, а также к энергетическим потокам, которые сначала увеличивались, а затем преимущественно начали уменьшаться. В результате почти везде уровень сложности оставался довольно низким. Прежде всего это произошло потому, что большая часть Вселенной фактически пуста. Там, где материи было достаточно, сложные системы возникали в форме галактик, состоящих из звезд, планет и облаков газа и пыли, возможно, с черными дырами в центре. Взрывающиеся звезды обеспечили формирование растущего числа химических элементов, необходимых для жизни. Это знаменовало следующий виток развития сложности.

Вначале уровень сложности, которого могла достичь Вселенная, определялся энергетическими уровнями. После примерно 300 тыс. лет расширения развитию нового уровня сложности способствовало взаимодействие энергетических уровней и потоков энергии. Первый уровень материальной сложности, возможно, явился результатом действия ядерной силы. Эта форма сложности состояла из самых маленьких, субатомных и атомных, частиц. Электромагнетизм обеспечил вторую, промежуточную стадию, на которой сформировались атомы, молекулы и группы молекул. Действие силы притяжения инициировало последнюю стадию и привело к появлению самых крупных структур, известных нам в обозримой Вселенной.

Более развитые формы биологической и культурной сложности, вероятно, весьма редки во Вселенной. На протяжении последних 4 млрд лет или около того энергетические потоки и уровни энергии на поверхности нашей планеты были благоприятны для возникновения этого типа сложности. Сначала сложные энергетические потоки на поверхности Земли обеспечили существование форм биологической сложности. Живые организмы начали более активно использовать разнообразные источники материи и энергии. Подобный процесс происходил и во время культурной эволюции человечества. Он привел к возникновению сложности самого высокого уровня, известного на сегодняшний момент.

Существовали определенные ограничения принципа Златовласки, которые обуславливали расцвет и упадок определенных типов сложности. Для формирования химических элементов, например, требовались довольно высокие температура и давление, но, возможно, не очень мощные потоки энергии. Для живых организмов, наоборот, нужны были достаточно умеренные энергетические уровни, но гораздо большие потоки энергии.

Чтобы более точно описать картину потоков материи и энергии, а также энергетических уровней в Большой истории, в дальнейшем очень важно определить их количество. Я планирую сделать это в форме исследовательской программы. Поэтому приглашаю всех заинтересованных читателей поучаствовать в этом захватывающем мероприятии.

Таблица. Энергетические уровни и потоки⁸

	Энергетические уровни (температура, в К или °С)	Энергетические уровни (давление, в атмосферах)	Показатель плотности свободной энергии (Φ_m , в Вт/кг)
1	2	3	4
Наша галактика	от практически 0 К (межзвездное пространство) до 3×10^9 К (сверхновая звезда)	от практически 0 атм. (межзвездное пространство) до ?? (сверхновая звезда)	0,00005*
Солнце	от 15×10^6 К (ядро) до 6000 К (поверхность)	от 340×10^9 атм. (ядро) до практически 0 атм. (край космического пространства)	0,0002*
Земля	от 150 К (верхние слои атмосферы) до 7000 К (ядро)	Около 0 атм. (верхние слои атмосферы) до 5×10^6 атм. (ядро)	0,0075*
Живые организмы	от 0 °С до 90 °С	от 1070 атм. (Марианская впадина) до 0,6 атм. (высокие горы – воздух)	0,05 (растения)*
			2 (животные)*
			15 (человеческий мозг)*
Человечество	от 20 °С до 30 °С (Африканская пустыня)	от 1 атм. до 0,6 атм. (высокие горы)	0,9 атм. (Африканская пустыня)
			2 (первобытные люди)*
			5 (развитые охотники-собиратели)**
			16 (первые земледельцы)**
			26 (развитые земледельцы)**
			77 (индустриальное общество)
			230 (технологическое общество, примерно с 1970 г.)**
от 1 атм. до 0,8 атм. (горы)	50 (все человечество, в среднем)**		
от 1 атм. до 0,6 атм. (высокие горы)			

Эта таблица суммирует данные, упомянутые прежде. Пожалуйста, обратите внимание, что ресурсы пресной воды, чрезвычайно важные для человеческого выживания, здесь не упомянуты.

Ценой роста сложности видов живых организмов стало уменьшение срока существования этих видов. Встает вопрос: станем ли мы сами настолько сложными, что в конечном итоге вымрем? Но выживем мы или нет, уже сегодня, учитывая увеличение используемых людьми потоков энергии, многие живые организмы испытывают за-

⁸ В этой таблице были использованы данные (отмеченные *) таблицы Эрика Чейсона *Некоторые показатели плотности свободной энергии* (Chaisson 2001: 139) и информация (отмечено **) из таблицы Ирла Кука *Ежедневное потребление энергии человеком* (Cook 1971: 136). Для простоты я предлагаю рассчитывать средний вес из расчета 40 кг на человека на протяжении всей истории развития человечества (средний показатель для взрослых и детей).

труднение в добыче энергии, достаточной для выживания и, по возможности, воспроизводства. Насколько затянутся текущие процессы, мы не знаем. Это напрямую будет зависеть от того, смогут ли люди найти способы управления доступными потоками материи и энергии и в биологическом, и в культурном смыслах и при этом сохранить формы сложности на Земле, которые позволят нам выживать и воспроизводиться.

Перевод с английского К. А. Уховой

Примечания редакции

1. В русском переводе в некоторых случаях понятие «сложная система» используется как синоним понятия «сложности» (в оригинале *complexity*).

2. Однако мы сами существуем вовсе не на внешнем крае Галактики. Расстояние от Солнца до центра Галактики около 8,5 кпс, радиус Галактики – около 15 кпс. Мы существуем на полпути от центра до края. При этом Солнце находится почти точно в осевой плоскости галактического диска – в самой его середине.

3. Наука ищет объяснение природы в ней самой. По определению наука – это философская позиция. Однако, как и любая философская позиция, она не может быть строго доказана, поэтому ее можно принимать или не принимать.

4. Сложные структуры возникают не только тогда, когда энергетические потоки проходят сквозь материю. Другой способ (при этом исторически он является первым) – это спонтанное нарушение симметрии. Примеры: формирование атомов из первичной плазмы протонов и электронов, формирование протогалактик из однородного распределения материи. Однородное распределение всюду одинаково и потому симметрично (относительно вращений и сдвигов), образование гравитационно связанных структур есть нарушение этой исходной симметрии, но происходит оно вполне спонтанно, из-за разрушения симметричного, но неустойчивого исходного состояния.

5. На современном этапе развития цивилизации наметилась четкая тенденция к снижению плотности потоков потребляемой энергии. Снижение энергоемкости процессов – главное направление развития современной технологии. iPad (работает от батарейки) – много более совершенное устройство, чем настольный компьютер той же производительности (работает от сети). Современные автомобили менее энергоемки, чем менее совершенные старые автомобили. Так что сделанное утверждение требует множества оговорок и уточнений. Действительный мейнстрим эволюции – это скорее увеличение плотности информационных потоков, а не энергии. Но и это обстоятельство не должно рассматриваться как «объяснение» эволюции – можно только констатировать, что увеличение плотности потоков информации и повышение уровня управления сопровождается прогрессивную эволюцию.

6. Это не совсем так. Некоторые естественные объекты во Вселенной характеризуются сопоставимыми или даже много большими плотностями потока энергии: пульсары, аккреционные диски черных дыр и других релятивистских звезд, взрывы сверхновых, космологические гамма-барстеры.

7. Это неточно. Многие бактерии и почти все вирусы допускают охлаждение до температур вплоть до абсолютного нуля (на очень длительное время) с последующим восстановлением жизненных функций при увеличении температуры. Они не могут функционировать при очень низких температурах, но вполне могут выжить.

8. Название принципа происходит от известной в европейской традиции сказки о Златовласке, которая является аналогом сказки о Маше и трех медведях.

9. Основных (известных) сил не три, а четыре: сильное ядерное взаимодействие, слабое ядерное взаимодействие, электромагнитное взаимодействие, гравитация. Все

они действовали уже на протяжении радиационной эры. Слабое взаимодействие управляет радиоактивным распадом и играет очень важную роль в формировании структуры материи.

10. При описании истории ранней Вселенной здесь допущен ряд неточностей. Например, нуклеосинтез продолжался примерно от 1 сек. до 5 мин., лептоны существовали в первичной плазме раньше, чем сформировались адроны и др. За более достоверной информацией можно обратиться, например, к монографии: Горбунов Д. С., Рубаков В. А. 2008. *Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва*. М.: ЛКИ. Здесь в первой главе дан популярный и точный обзор истории Вселенной после Большого взрыва.

11. Сейчас совершенно ясно, что абсолютно равномерно радиация не распределялась, и величина относительных крупномасштабных вариаций плотности радиации составляла порядка 10^{-5} . Именно они стали источником всех последующих крупномасштабных структур во Вселенной (протогалактик, потом скоплений галактик).

12. Это очень спорное утверждение. Скорее наоборот, энтропия была очень низкой, что и позволило запустить 2-е начало термодинамики (энтропия растет, потому что есть куда расти из начального низкоэнтропийного состояния). Если бы энтропия была действительно высокой, то это означало бы, что мир находится в состоянии, близком к тепловой смерти, и никакая эволюция уже невозможна. Это может показаться парадоксальным, но равномерное распределение материи в присутствии гравитационных сил означает низкую, а не высокую энтропию. Процесс гравитационной концентрации материи, с которого и начинается нетривиальная эволюция, сопровождается колоссальным ростом (низкой до того) энтропии. Энтропия Большого взрыва была бы действительно на пике, если бы вся материя сконцентрировалась в черных дырах, а не распределялась однородно.

13. Приведенные цифры не совсем понятны. Радиационная эра – время доминирования давления излучения. Радиационная эра завершается в момент рекомбинации водорода, что происходит в возрасте Вселенной 270 тыс. лет при температуре 3100 К.

14. Температура обычного вещества тоже падала.

15. В оригинале автор использует слово *matter*, которое на русский язык переводится и как материя, и как вещество. С учетом того, что в философии категория материи, по сути, отождествляется со всеми ее проявлениями в Универсуме, включая как собственно вещество, так и энергию, при переводе был выбран вариант «вещество», так как предыдущая (выделенная Спиром) эра была в основном связана именно с энергией. Однако в тексте мы употребляем слова «вещество» и «материя» как синонимы.

16. Это не совсем точно. Протоны, нейтроны и электроны в основном не находились в свободном состоянии, большая часть обычной материи входила в состав более сложных систем – атомов (протоны и гелий в основном). Но при этом была еще и темная материя, которая по массе превосходила обычную материю примерно в шесть раз (природа ее неизвестна до сих пор).

17. Слабая сила не является «частью» электромагнитной силы. Электромагнитная и слабая силы – две стороны единой сущности – электрослабой силы.

18. См. примечание 11.

19. Речь идет о ядерных реакциях синтеза, а не о цепных ядерных реакциях. Под цепными ядерными реакциями понимаются, напротив, реакции деления тяжелых ядер, которые используются в обычных энергетических атомных реакторах и атомных бомбах, но в природе осуществляются редко.

20. Здесь возможно терминологическое недоразумение. Хотя гравитация действительно умеет притягивать энергию (в виде излучения, искривляя пути света или даже полностью захватывая свет в черную дыру), это не имеет отношения к формированию звезд.

21. Автор имеет в виду новую энергию извне. Но в целом звездам обязательно нужна новая энергия, чтобы сиять, и они извлекают ее фактически из атомных ядер. Закон сохранения энергии нарушать нельзя. Но ядерный источник энергии со временем иссякает, из-за чего происходит катастрофическое сжатие звезды. Звезда как таковая прекращает свое существование, а дальнейшая судьба остатка зависит от начальной массы звезды: это может быть белый карлик, нейтронная звезда или черная дыра.

22. Внезапное возобновление нуклеосинтеза к таким взрывам не имеет отношения. Звезда взрывается под действием потери устойчивости и нейтронизации вещества (электроны поглощаются ядрами, и все превращается в нейтроны и нейтрино, нейтрино при этом сразу улетают). Побочным продуктом этого процесса может быть синтез элементов тяжелее железа.

23. Сила притяжения не имеет никакого отношения к делению ядер. Они делятся вполне спонтанно. Тепло внутри планет есть результат: 1) разогрева в результате гравитационного сжатия; 2) радиоактивного распада. И это разные независимые факторы.

24. См. примечание 4.

25. Не можем не отметить, что в местах обитания жизни на Земле температуры варьируются от по крайней мере – 70 до +150 градусов, а давление – от нескольких тысяч атмосфер на глубине в несколько километров под землей до почти нуля в стратосфере, где тоже обитают бактерии. Даже температура океанской воды, где себя прекрасно чувствуют пингвины и всякие рыбы, – 3 градуса. А размножаются пингвины на берегу даже при нескольких десятках градусов ниже нуля.

26. Это не совсем верно. В юрском и меловом периодах мезозойской эры существовали громадные ящеротазовые динозавры из группы завропод, которые по размерам и весу превосходили абсолютное большинство водных животных и были вполне сопоставимыми с китами. Так, вес брахиозавра мог достигать, по расчетам, 40–45 тонн.

27. Если не считать, конечно, такими «функциями» взаимное притяжение.

28. По мнению ряда исследователей, это неверно. В действительности первые люди (род *Homo*) появились, согласно палеоантропологическим данным, около 2,3–2,4 млн лет назад. 3–4 млн лет назад еще было время австралопитеков (род *Australopithecus*).

29. Примерно через 500 тыс. лет после появления первых известных орудий появился только **один** новый вид людей с более сложным мозгом – *Homo erectus*. Что касается *Homo habilis*, то этот вид появился примерно одновременно с первыми орудиями (или чуть позже), мозг у него был меньше, чем у эректусов, и лишь ненамного больше, чем у австралопитеков. Кроме того, хабилисы – это, собственно, самые древние и примитивные из известных представителей рода *Homo*, поэтому в данном контексте неправильно называть их «новым» видом людей.

30. Это утверждение верно в отношении энергии ядерного синтеза, но в отношении энергии деления ядра это не так. В мирных атомных станциях было произведено существенно больше энергии, чем во всех взрывах атомных бомб.

Библиография

- Anderson B. 1991. *Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism*. London; New York: Verso.
- Carneiro R. L. 1970. A Theory of the Origin of the State. *Science* 169 (3947): 733–738.

- Chaisson E. J. 1981.** *Cosmic Dawn: The Origins of Matter and Life*. New York: W. W. Norton.
- Chaisson E. J. 1988.** *Universe: An Evolutionary Approach to Astronomy*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Chaisson E. J. 2001.** *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chaisson E. J. 2005.** *The Broadest View of the Biggest Picture: Natural History Writ Large*. New York: Columbia University Press.
- Chaisson E., McMillan S. 1999.** *Astronomy Today*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Christian D. 1991.** The Case for 'Big History'. *Journal of World History* 2(2): 223–238.
- Christian D. 2003.** World History in Context. *Journal of World History* 14(4): 437–458.
- Christian D. 2004.** *Maps of Time: An Introduction to 'Big History'*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Cook E. 1971.** The Flow of Energy in an Industrial Society. *Scientific American* 224: 134–147.
- Elias N. 1978.** *What is Sociology?* London: Hutchinson.
- Gamble C. 1995.** *Timewalkers: The Prehistory of Global Colonization*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Goudsblom J. 1992.** *Fire and Civilization*. London: Allen Lane.
- Harris M. 1975.** *Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology*. New York: Harper & Row.
- Harris M. 1980.** *Cultural Materialism: The Struggle for a Science of Culture*. New York: Vintage Books.
- Jantsch E. 1980.** *The Self-organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. Oxford: Pergamon Press.
- Kauffman S. A. 1993.** *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman S. A. 1995.** *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*. London: Viking, The Penguin Press.
- Lehninger A. L. 1975.** *Biochemistry*. 2nd ed. New York: Worth Publishers.
- Lovelock J. E. 1987.** *Gaia: A New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press.
- Magistretti P. J., Pellerin L., Martin J. L. 2000.** *Brain Energy Metabolism: An Integrated Cellular Perspective*. URL: <http://www.acnp.org/g4/gn401000064/ch064.html>
- McNeill J. R., McNeill W. H. 2003.** *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*. New York: W. W. Norton & Company.
- McNeill W. H. 1991.** *The Rise of the West: A History of the Human Community; with a Retrospective Essay*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- McNeill W. H. 1992.** *The Global Condition: Conquerors, Catastrophes and Community*. Princeton, NY: Princeton University Press.
- McSween Jr. H. Y. 1997.** *Fanfare for Earth: The Origin of Our Planet and Life*. New York: St. Martin's Press.
- Mears J. 2001.** Agricultural Origins in Global Perspective. *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History* / Ed. by J. Mears, pp. 36–70. Philadelphia, PA: Temple University Press.
- Morrison P., Morrison Ph., and The Office of Charles and Ray Eames. 1994.** *Powers of Ten: About the Relative Size of Things in the Universe*. New York: W. H. Freeman & Co., Scientific American Library.

- Pannekoek A. 1953.** *Anthropogenesis: A Study of the Origins of Man*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
- Prigogine I., Stengers I. 1984.** *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London: Heinemann.
- Pyne S. J. 2001.** *Fire: A Brief History*. London: The British Museum Press.
- Rifkin J. 1981.** *Entropy: A New World View*. New York: Bantam Books.
- Simmons I. G. 1993.** *Environmental History: A Concise Introduction*. Oxford: Basil Blackwell.
- Simmons I. G. 1994.** *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*. Oxford: Basil Blackwell.
- Smil V. 1994.** *Energy in World History*. Boulder, CO: Westview Press.
- Spier F. 1994.** *Religious Regimes in Peru: Religion and State Development in a Long-term Perspective and the Effects in the Andean Village of Zurite*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Spier F. 1996.** *The Structure of Big History: From the Big Bang until Today*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Spier F. 2010.** *Big History and the Future of Humanity*. Chichester, Malden, MA: Wiley-Blackwell.
- Tainter J. A. 1988.** *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vélez A. 1998.** *Del big bang al Homo sapiens*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Walker G. 2003.** *Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe that Spawned Life as We Know It*. New York: Random House.
- Westbroek P. 1992.** *Life as a Geological Force: Dynamics of the Earth*. New York; London: W. W. Norton & Co.
- White L. A. 1943.** Energy and the Evolution of Culture. *American Anthropologist* 45: 335–356.
- White L. A. 1959.** *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*. New York: McGraw-Hill.
- White L. A. 1975.** *The Concept of Cultural Systems: A Key to Understanding Tribes and Nations*. New York; London: Columbia University Press.