

ЭНТРОПИЯ, ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ.

Общие положения. Конечное существование любой системы обусловлено энтропией S . Энтропия связана с теплоемкостью (энергоемкостью) C , регламентирующей работоспособность системы, и имеет ту же размерность (кДж/град). Формула этой связи [3]:

$$S = \int_0^T (C/T) dT = C \cdot \omega, \quad (1)$$

где ω – интегральный коэффициент, зависящий от температуры T (К).

Если зависимость C от T линейна, как например у льда [10], то $\omega \approx 1$. В остальных случаях величина ω больше; в частности, у металлов при комнатной температуре, она колеблется между 1 и 2; например у меди, серебра, цинка и олова, значения $\omega = S / C$ составляют: 1,48; 1,18; 1,22 и 1,06 [6]. Таким образом, $S \geq C$, причем знак равенства отвечает началу необратимой деградации системы.

При постоянных температуре и давлении энтропия изменяется во времени, от некоторого минимума, стремящегося к 0, до максимума, соответствующего полному разрушению системы; теплоемкость от времени не зависит. Произведение $C \cdot T$ дает величину внутренней энергии $U = C \cdot T$, произведение $S \cdot T$ – связанной. Разница между ними $F = U - S \cdot T$ называется свободной энергией, а ее отношение $F / T = S_n$ – негэнтропией (отрицательной или негативной энтропией). За счет свободной энергии и негэнтропии и функционирует, “живет”, система. По меткому выражению А.Шредингера система “питается негэнтропией” [14].

Первоначально введенное в научный обиход Клаузиусом в качестве показателя деградации энергии в изолированной системе - превращения всех ее видов в тепло, в дальнейшем это понятие приобрело универсальный смысл увеличивающегося беспорядка, износа, “производства пустоты”. Эрозия и выполживание склонов, усыхание, разуплотнение и потеря связности материалов, коррозия металлов, обесцвечивание, старение – все эти и подобные процессы, со *временем* уравнивающие систему с окружающей средой, являются выражением и результатом энтропии. По существу *время* – это такая же руководящая развитием “сила”, как давление, температура, свет и др. внешние факторы, и приводящая в конечном счете к тому же результату: разрыву связей между частицами системы и рассеянию их в окружающем пространстве. Но, в отличие от других сил, время не знает скачков и перерывов, оно действует только в сторону увеличения, монотонно и непрерывно.

Для количественного анализа систем используют вероятностное (“больцмановское”) выражение энтропии [2]:

$$S = k \ln W, \quad (2)$$

где $W = V/V_0$ – термодинамическая вероятность (число реализаций микросостояний в данном макросостоянии или количество элементарных частиц в системе); V_0 и V – элементарный и текущий объемы системы; k – постоянная Больцмана, имеющая смысл элементарной энтропии.

Энтропия тесно связана с разрушением и деформацией. Каждая частица вещества скреплена с соседними множеством связей, образующих вокруг нее нечто вроде упругой оболочки или совокупности связей. При загрузке системы эта совокупность деформируется, а при достижении предела прочности рвется. На месте разрыва образуется “пустота”. Число таких разрывов при полном распаде тела равно количеству частиц (неделимых элементов, “атомов”). Расход времени на отрыв одного атома – τ_0 , всех – в W раз больше, тогда

$$\tau / \tau_0 = V/V_0, \quad (3)$$

Энтропия обычно понимается как показатель разрушительного действия времени. Совместное решение (3) и (2) дает выражение непосредственной связи этих параметров:

$$S = k \ln(\tau / \tau_0) \quad (4)$$

Энергия разрушения примерно равна скрытой теплоте сублимации Q_c [9], ее величину можно рассматривать как энтальпию, являющуюся суммой $P\gamma$ (P – внешнее давление, γ – объем “атома” на момент его отрыва) и $S\cdot T$. Подставив в произведение $S\cdot T$ выражение энтропии (4), после несложных преобразований находим формулу долговечности (времени до разрушения) твердого тела τ , известную из кинетической теории прочности [9]:

$$\tau = \tau_0 \exp[(Q_c - \gamma P) / kT] \quad (5)$$

Даже при $P=0$ вычисленная по этой формуле долговечность получается хотя и очень большой, но все же конечной величиной. Как утверждал древнегреческий философ Анаксимандр: “Любая структура, отличная от элемента, должна погибнуть” [13].

Циклические системы. Жизненный цикл систем любой природы складывается из циклов меньших периодов. Наиболее заметную роль в их развитии играют вращательные циклы в системе Солнце – Земля – Луна: годовой, суточный и месячный (лунный), основной константой (инвариантом) которых является число 12: год состоит из 12 месяцев, месяц – из 30=12 ln12

суток, сутки из 12·2 часов. Лунный (логарифмический) инвариант ($\ln 12$) прослеживается до микроуровня: период тепловых колебаний атомов $\tau_a \approx 10^{13} \text{ с} \approx 12^{12} \text{ с}$, тогда $\ln \tau_a \approx 12 \ln 12 \approx 30$.

В сглаженном виде графическое изображение жизненного цикла имеет куполообразную (параболическую) форму, составленную из двух более или менее симметричных монотонных кривых (ветвей). Одна, восходящая, отображает подъем или становление системы (появление “на свет”, расцвет, молодость). Другая, нисходящая - спад (закат, деградацию, старость и смерть). Срединная часть цикла - относительно пологий участок перехода одной ветви развития в другую ассоциируется со зрелостью системы, когда она обладает максимальной производительностью, жизнеспособностью и устойчивостью.

Понятие жизненного цикла, включающего упомянутые возрастные стадии, применяется, в основном, к развитию индивидов, для которых такой его ход очевиден. По отношению к развитию составных, разветвленных систем используется понятие эволюции, под которой понимается необратимое историческое развитие живой природы от простых форм к сложным, более совершенным, лучше приспособленным к условиям среды. В “конце истории” предполагается достижение всеобщей гармония – равновесие между всеми системами живой и неживой природы, их разумное взаимодействие. В этой, оптимистической, концепции развития энтропии нет места. Деградация, старость, даже у индивидов, рассматривается как некое отклонение от нормы, как болезнь, которую в принципе можно вылечить. Согласно другой, пессимистической, концепции Землю и все на ней сущее ожидает “конец света” (по некоторым сведениям уже в этом году). Эта концепция, если отбросить крайности, в общем, отвечает второму закону термодинамики о стремлении энтропии к максимуму. Следует отметить, что термодинамика, в методологический аппарат которой входит понятие энтропии, зародилась в начале 19-го века при исследовании работы появившихся в то время тепловых машин - технических систем, для которых понятие становления лишено смысла. Их создает человек и в дальнейшем они естественным образом могут только разрушаться. Экогеосистемы, создаваемые самой природой, обязательно проходят этап становления (подъема, расцвета), включающего эмбриональную (инкубационную) и ювенальную стадии, когда они активно отбирают энергию и массу у внешней среды (“питаются негэнтропией”), и лишь достигнув и пережив зрелость, они начинают деградировать, производить энтропию. Т.е. на этапе становления растет не энтропия, а негэнтропия и этот рост также описывается формулой (2), но со знаком минус:

$$S_{\text{н}} = -S = -k \ln (W) = k \ln (1/W), \quad (6)$$

Формулы энтропии и негэнтропии отличаются тем, что их аргументы – количество частиц в системе ($W = V/V_0$) и доля частицы в системе ($1/W = V_0/V$) обратны друг другу.

В Чикагском университете [15] недавно выполнен детальный анализ пространственно-временного распространения 140 видов новозеландских моллюсков, живших и вымерших от 40 до 3 млн. лет назад. Он показал, что и сложные таксоны (виды и роды), существующие десятки миллионов лет, претерпевают в своем развитии те же возрастные стадии, что и индивиды.

График развития “усредненных” вида и рода показан на рис 1 а [7, 15]). На горизонтальной оси отложено относительное время в долях от общей продолжительности жизни рода и вида (j_τ). На вертикальной — максимальные, минимальные и средние значения доли палеонтологических коллекций данного геологического возраста (встречаемость V), в которых присутствует данный род или вид. Средние значения встречаемости моллюсков V_c на рис. 1 а изменяются от 0,015 до 0,036 для видов и от 0,02 до 0,069 для родов. По этим данным, приведенным к относительному виду $j_B = (V_c - V_{c.1}) / (V_{c.2} - V_{c.1})$, где $V_{c.2}$ и $V_{c.1}$ – максимум и минимум величины V_c , автором построен обобщенный график жизненного цикла моллюсков рис.1 б. Все экспериментальные точки на этом графике с практической точностью ложатся на одну кривую, как на видовом, так и на родовом уровне, которая с высокой достоверностью ($R^2 = 0,99$) описывается полиномом 4-й степени:

$$j_B = 10,4j_\tau^4 - 20,62j_\tau^3 + 9,22j_\tau^2 + 0,88j_\tau + 0,15 \quad (7)$$

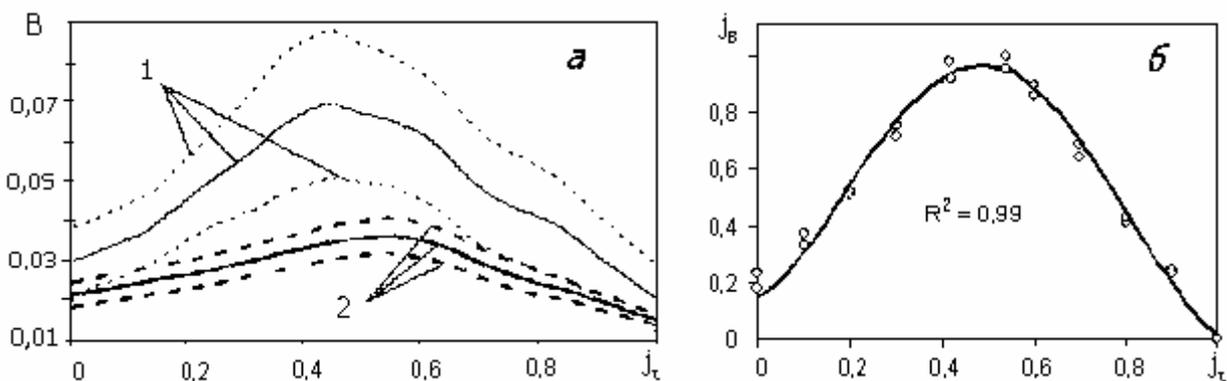


Рис. 1. Зависимость V (а) и j_B (б) от j_τ у видов (1) и родов (2) моллюсков.

Форма жизненного цикла твердых и твердообразных тел (систем), его очертание совпадает с кривой изменения их плотности, от которой напрямую зависят основные показатели “жизненной силы” – прочность и долговечность. Плотность материалов, из которых состоят организмы (древесной или костной и мышечной ткани и др.), сначала увеличивается, достигая максимума в стадию зрелости, а затем убывает. Например, плотность костной ткани человека меняется на протяжении всей его жизни. После рождения она линейно возрастает, достигая пика к 25–30 годам. От 30 до 45 лет она практически не меняется. А потом начинается естественный

физиологический процесс разрежения структуры кости. У здорового человека в этом возрасте кости становятся рыхлее примерно на 1% в год. Под микроскопом в разрушающейся костной ткани пожилого человека видны многочисленные поры. Отсюда и название заболевания - остеопороз, в переводе с древнегреческого означающее «пористая кость». Точно также изменяется во времени плотность нагруженного твердого тела, в частности мерзлого грунта: сначала она увеличивается, а затем уменьшается.

Траектория развития природных систем в пределах жизненного цикла обычно представляет собой ломаную линию параболического вида. Это означает, что они не только производят энтропию (на участках спада), но и поглощают негэнтропию (на участках подъема). Вектор развития (результатирующая энтропия - глобальный тренд) определяется разницей между суммами энтропии и негэнтропии на этих участках, ее знаком. Эта разница, как следует и из (6), близка к 0. Например, суммы положительных и отрицательных коэффициентов в формуле (7), контролирующих величины энтропии и негэнтропии 20,65 и -20,62, примерно равны, а их сумма близка к 0 – положительная энтропия несколько больше. Такая же картина наблюдается и у других систем.

Энтропия имеет для развития не только негативное, но и позитивное значение, которое заключается в том, что все новое рождается из обломков старого. Ее материальное воплощение - отходы служат, в частности в биосистемах, пищей для микроорганизмов - редуцентов, замыкающих основание (почву) и вершину пищевой пирамиды в постоянный круговорот энергии и вещества в биосфере. И в любой, входящей в нее экогеосистеме, энтропия одной подсистемы служит строительным материалом и “пищей” другой, а медленное остывание Земли и биосферы формирует тенденцию к интенсификации и экономичности процессов развития и форм существования. Это подтверждается вымиранием гигантских животных и живучестью и разнообразием мелких .

По И.Пригожину [8] в открытых системах приращение энтропии ΔS на каждый момент времени складывается из двух частей. Одна часть ΔS_i – прирост внутреннего беспорядка, как и в закрытых системах, всегда положительна. Другая ΔS_e зависит от граничных условий, при нагреве или повышении давления на систему, она положительна, при охлаждении или понижении давления – отрицательна. Отрицательная энтропия (негэнтропия) $\Delta S_e = \Delta S_n$ противостоит деградации. Система не разрушается, если негэнтропия равна или больше энтропии. Рост негэнтропии в системе означает ее убыль в окружающей среде, и наоборот. Поэтому на стадии становления и стационарного развития данной системы, когда $\Delta S \leq 0$, деградирует внешняя среда. На этапе становления растет негэнтропии, что соответствует

увеличению жизненной силы, на этапе деградации растет энтропия, что означает растрату силы, накопленной на этапе становления. Энтропию и негэнтропию можно рассматривать как две сущности продуктов разрушения. Первая - это отходы одной системы, вторая - сырье для создания другой. Важно, чтобы скорость накопления отходов не превышала скорости их утилизации и вовлечения в обменные круговороты.

Соотношение теплоемкости и энтропии во времени. Теплоемкость характеризует пространство, в котором реализуются тепловые колебания “атомов”, генерирующие энергию. На разных этапах развития, на подъеме (становлении) и спаде (старении) соотношение теплоемкости и энтропии неодинаково (рис.2)

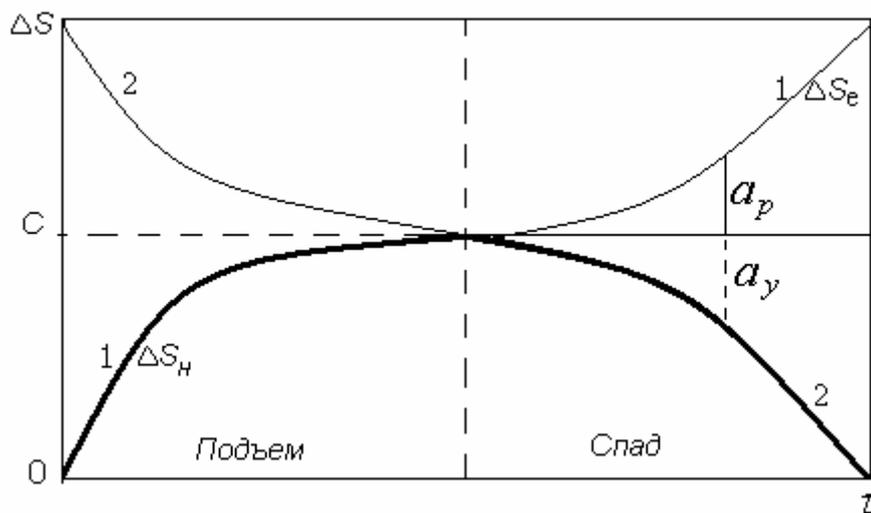


Рис. 2. Ход энтропии в процессе развития системы (толстая линия – ход (оборот) негэнтропии ΔS_n системы, тонкая – то же внешней среды; составная линия 1 – приращение энтропии ΔS системы, 2 – ее убыль у внешней среды)

В период становления (созревания) системы производство собственной энтропии ΔS_i незначительно, в основном она поставляется из внешней среды и выступает как негэнтропия. В генерализированном (одинарном) жизненном цикле можно принимать, что в этот период $\Delta S_i = 0$ и приращение суммарной энтропии $\Delta S = \Delta S_n$

В период деградации наоборот преобладает производство энтропии, тогда $\Delta S_n = 0$ и $\Delta S = \Delta S_i$. Рост негэнтропии соответствует приращению жизненной силы за счет ее убыли у внешней среды. При $\Delta S_n = C$ наступает пик зрелости, за которым начинается производство энтропии ΔS из запасов негэнтропии, накопленных в период становления: негэнтропия превращается в энтропию. Аналогичным образом, ведет себя упругая деформация нагруженного (уплотняющегося) тела, которая при достижении телом максимальной плотности переходит в пластическую.

Увеличение ΔS в системе сопровождается ростом негэнтропии ΔS_n во внешней среде. $\Delta S_n = \Delta S = C$ - это центр симметрии, оптимум условий существования системы, в обе стороны от которого они ухудшаются: при $\Delta S_n < C$ из-за еще неполного набора жизненной силы (в юности), при $\Delta S > C$ из-за ее постепенной растраты (в старости).

Гипотетический цикл обращения негэнтропии в энтропию на рис. 2 по форме идентичен подлинному жизненному циклу, в частности, новозеландских моллюсков, приведенному на рис.1.

Величина теплоемкости C (и соответственно внутренней энергии $U=C \cdot T$) генетически обусловлена всем предшествующим развитием. Ее постоянство в процессе развития под действием внешних факторов может нарушаться. Это вызывает сбой нормального функционирования системы и может привести к ее гибели. В частности увеличение C без адекватного прироста жизненной силы (негэнтропии) вызывает *инфляцию*, в переводе с латинского - вздутие, а то, что надувается может и лопнуть, как мыльный пузырь. Это периодически происходит, например, с финансовым капиталом, неизмеримо раздутым за счет биржевых спекуляций.

Вообще схема на рис.2 универсальна для демонстрации цикличности и стадийности развития любой системы. Для примера возьмем популяцию любого вида. На стадии становления ее текущая численность растет до установления равновесия с окружающей средой, затем остается примерно постоянной. Соотнесем эту равновесную численность с теплоемкостью C на рис. 2 (примем, что они эквивалентны). Общее число всех, когда - либо родившихся особей, его ход, примем за ход энтропии ΔS (кривая 1 на рис. 2). После достижения равновесия с внешними условиями величина C становится константой, а энтропия (количество всех родившихся особей) продолжает расти. Количество особей, родившихся после установления равновесия, обозначим a_p , умерших - a_y (в равновесном состоянии $a_p \approx a_y$). Теперь найдем приближенное выражение негэнтропии в равновесном состоянии системы: $\Delta S_n \approx C - a_y$, из которого следует, что и при установившемся равновесии система деградирует и полностью разрушится, когда a_y превысит C .

Об энтропии нематериальных систем. Цивилизации, этносы, государственные и производственные структуры, наука, культура и др. общественные и гуманитарные системы развиваются по той же циклической схеме, общей для всех земных систем, включающей стадии становления (расцвета), зрелости и упадка. Глобальный тренд общественного развития определяется кругооборотами многих составляющих: духовных, культурных и материальных ценностей, финансов, политических ситуаций и, не в последнюю очередь, природных условий. Стабильные (прошедшие стадию становления) общественные системы эволюционируют в сторону роста энтропии. Теряют популярность традиционные отношения, парадигмы, нормы

поведения, вкусы. Рушатся сословные барьеры, стираются классовые, культурные, расовые и даже половые различия.

Внутреннее развитие живых систем идет в направлении повышения способности потреблять (добывать пищу и наращивать массу). У растений эта способность ограничена невозможностью самостоятельно передвигаться и конкуренцией. У животных - только конкуренцией, собственных ограничителей нет. У человечества, создавшего изощренные технологии извлечения ресурсов из окружающей среды, возможности потребления почти безграничны. В условиях ограниченности природных ресурсов это может привести к катастрофе. Но люди, в отличие от животных, наделены разумом - инструментом, в принципе позволяющим целенаправленно, руководствуясь долгосрочной выгодой и моральными принципами (осознанными запретами) регулировать потребности, не вызывая возмущений (катаклизмов) окружающей среды. Но мораль, развивающаяся в пространстве между идеалами (потенциалами) *добра* и *зла* тоже подвержена энтропии. Граница между *добром* и *злом* определена еще на заре человечества и закреплена религиозными канонами. Назначение этих канонов - защита добра от зла, уже подразумевает наступательный характер последнего, самопроизвольное развитие в направлении понижения нравственного уровня (морального износа), подобно тому, как в физических телах тепло перемещается только от теплого к холодному, а не наоборот. Энтропия выразилась в постепенном ослаблении зависимости поведения людей от религиозных догм, смещении его на "территорию зла" и создании еще одной линии обороны, поддерживаемой юридическими нормами. Эти нормы снисходительней к природе человека, но жестче санкционированы. В то же время, они более подвижны и неустойчивы, поскольку отражают общественные отношения, подчиняясь их динамике, и имеют явную тенденцию к смягчению. "Вступив в юридическую эру и заменив совесть законом, мир снизился в духовном уровне" – пишет А.И.Солженицын [12]. Верно подмечено. Но надо признать, что именно в срединной области между совестью и законом живет законопослушное большинство. Здесь в постоянном борении разума и инстинктов, необходимости и свободы, коллектива и личности формируются уровни общественной морали и правосознания; морализуются (обуздываются до уровня социально неопасных) силы *зла* – зависть, властолюбие, тщеславие, корысть и т.п., несовместимые с религиозными догмами, но побуждающие (и переходящие в) такие активные, двигающие прогресс, формы деятельности, как политика, бизнес, финансы, торговля и др. Даже такой позитивный фактор как любознательность, на котором, зиждется вся наука, является *облагороженным* (общественно допустимым) любопытством. Тем не менее, тенденции в области морали очевидны: уровень нравственности, определяющий обязанности индивида в

коллективном поведении, падает, а осознание своих прав растет. Общество "атомизируется", растет его энтропия, неустойчивость, непредсказуемость.

Определить энтропию сложных систем трудно, но ее часто удается "почувствовать" и оценить через стоимость заменителей износа (суррогатов) и утилизации отходов. В частности, затраты на природоохранные и восстановительные работы при освоении территории – это денежное выражение техногенной энтропии. Полностью исключить энтропию системы невозможно, так как энергия и ресурсы, затрачиваемые на компенсацию ущерба, извлекаются из самой системы, что и отражается ненулевой стоимостью восстановительных работ.

Мотивацией современного производства является получение прибыли, напрямую зависящее от оборачиваемости капитала и требующее вовлечения в процесс потребления новых участников. Но этому препятствует увеличивающийся разрыв между бедными и богатыми, сокращающий покупательский спрос и, соответственно, производство. Потери в реальном производстве и товарообмене восполняются суррогатами – ценными бумагами и спекуляциями с ними, позволяя финансовой элите извлекать прибыль буквально из воздуха. В результате значительная часть ценных бумаг и денег, циркулирующих в мире, ничем не обеспечена и разница между этим кажущимся, виртуальным, и материальным богатством (финансовая энтропия) растет.

Аналоги энтропии; деформация. Смысл энтропии и теплоемкости – сложных и многогранных понятий, пригодных для оценки энергетике всех систем, проясняется при анализе последовательностей чисел, характеризующих циклические процессы, например, многолетнего хода температур воздуха, где энтропия и теплоемкость соотносятся как разность и сумма сумм положительных и отрицательных температур; вообще основные характеристики любого бюджета (тепла, массы, финансов и т.п): интегральная сумма прихода и расхода (оборот), и их разность (баланс) – ни что иное, как образы или аналоги, соответственно, энтропии и теплоемкости.

Механическим аналогом энтропии является деформация. Более того, из (1) следует, что при $V/V_0 \leq 1,1$ относительная энтропия $\ln(V/V_0)$ практически равна относительной деформации $j = 1 - V_0/V$. Превышение V над V_0 в 1,1 раза – это немало, если учесть, что большинство твердых веществ при переходе в жидкость изменяет свой объем всего на 1-9% (в 1,01-1,09 раза). Например, "гибель" льда – превращение его в воду, сопровождается изменением (увеличением) его объема всего на 8,3%. У других веществ эта величина еще меньше (у магния - 4%, у чугуна, натрия и олова ~5%, у сурьмы – 0,94%... [6]).

Твердое тело под постоянной нагрузкой P (как и другие земные системы под воздействием внешней среды) в конечном счете разрушается, проходя в своем развитии три явные стадии деформирования: 1) с убывающей, 2) примерно с постоянной и 3) с возрастающей скоростью, и

одну скрытую, до начала наблюдений (первое наблюдение всегда производится спустя какое-то время после загрузки образца), или, еще более наглядно, два периода – уплотнения и разуплотнения, со слагающими их четырем тактами. Отрезки деформационной кривой на этих участках повторяют форму соответствующих участков земной орбиты [5]. Гармоническое состояние системы, характеризующееся наибольшей устойчивостью и производительностью достигается на второй, линейной стадии развития, когда скорости деформации и производства энтропии постоянны и минимальны за весь жизненный цикл и оно, как показано в [5], не может продолжаться бесконечно долго.

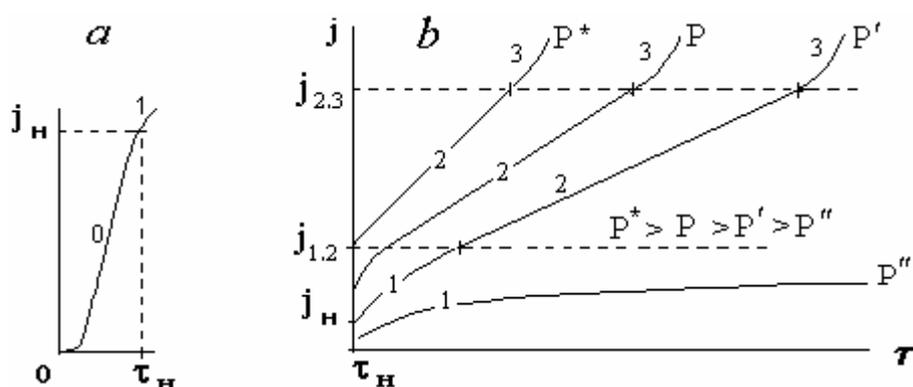


Рис. 3. Ход деформации j во времени τ при разных давлениях P

(а, б – скрытая и явные стадии, 1...3 – номера явных стадий, $j_{1,2}$ и $j_{2,3}$ – деформации на границах стадий; τ_n – время начала наблюдений)

Для примера на рис. 3 дана типовая схема хода относительной деформации образца мерзлого грунта $j=1-h/h_n$ (h_n и h – начальная и текущая высота образца) во времени τ под действием постоянной сжимающей нагрузки P [4]. Отдельно, на рис. 3 а показан (для наглядности в увеличенном масштабе) гипотетический ход деформации до начала наблюдений (замера первой пары высота – время). Этот участок можно сопоставить со скрытой (эмбриональной) стадией развития, на которой зарождается новая структура. За расчетную величину долговечности принимают время достижения деформацией величины $j_{2,3}$, которая у водонасыщенных грунтов близка к деформации плавления льда $j_{пл} = 1 - (\rho_l / \rho_v)$, где ρ_l / ρ_v - плотности льда и воды.

Величина деформации j является суммой упругой и пластической деформаций. Суммарная деформация j , как и энтропия, все время растет (примерно по кривой 1 на рис. 1). Упругая деформация сначала тоже растет, а примерно с середины второй стадии начинает убывать, превращаясь в пластическую (необратимую) деформацию. Т.е. ход упругой деформации, как и плотности повторяет ход неэнтропии на рис. 1. К концу второй стадии упругость - способность

системы к самовосстановлению (к самоорганизации, гармонии) - практически исчерпана. На третьей стадии – прогрессирующего течения, развивающегося со скоростью звука, тело (система) за счет внутреннего трения некоторое время еще сохраняет свою сплошность, но начинающие преобладать сдвиговые (поперечные) деформации, приводят к ее распаду, т.е. к максимальной относительной деформации ($j = 1$) и, соответственно, к максимальной энтропии.

Многочисленными опытами установлено, что твердое тело переходит из упругого состояния в пластичное, когда отношение пределов его текучести при сдвиговой (поперечной) и продольной деформациях изменяется в интервале $0,55 - 0,6$ [4]. Скорости поперечных и продольных волн в некоторых материалах приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Скорости (м/с) поперечных (сдвиговых) $V_{сд}$ и продольных волн $V_{пр}$ и их отношения

Материал	$V_{сд}$	$V_{пр}$	$V_{сд} / V_{пр}$
Лед	1990	3280	0,61
Железо	3230	5170	0,62
Медь	2260	3710	0,61
Никель	2960	4785	0,62
Олово	1670	2730	0,61
Цинк	2410	3810	0,63
Фарфор	3120	4884	0,64

Табл.1 показывает, что отношения $v_{сд} / v_{пр}$ очень близки к величине Золотого сечения: $\Phi=0,618$.

Таким образом, циклический (параболический) характер эволюции системы определяет ход взаимосвязанных параметров - плотности, упругости и энтропии. Золотое сечение по нашим представлениям соответствует не максимуму энтропии, а переходу со второй (стационарной) стадии развития данной системы на третью (прогрессирующего течения), потери упругости (способности к самовосстановлению) и началу ее необратимого старения. Максимуму же энтропии соответствует распад системы на составляющие частицы.

О двойственности энтропии. Основополагающими понятиями теории энтропии, отражающими противоположные сущности, между которыми она существует, являются порядок и беспорядок (хаос). Эти понятия довольно противоречивы, неоднозначны. С одной стороны (в термодинамике и синергетике), порядок - это неравенство (разность потенциалов), подвижность, сложность и многообразие. С другой - порядок (т.е. то, что “хорошо”, нормально, штатно) в практических делах обычно ассоциируется с равновесием, простотой и долговечностью. Но с увеличением равновесия, простоты и долговечности одновременно уменьшается подвижность, сложность и многообразие. Эта двойственность, по-видимому, связана с дихотомией целого и

части, системы и subsystemы, “интересы” которых и едины и противоположны. Не все, что хорошо для частицы, особи, хорошо и для целого. Например, полная свобода особи, ослабляет устойчивость системы. Можно привести немало примеров сосуществования противоположных начал - порядка и беспорядка: а) твердая фаза упорядоченной текучей, но структуры последней сложнее и многообразнее; б) в высоких широтах при малом биоразнообразии, выше выносливость биоты к неблагоприятным факторам среды обитания; в) при низкой температуре мерзлые породы очень прочны, но мало пластичны (хрупки) и быстро разрушаются при больших нагрузках; высоко же температурные - малопрочны, но при тех же нагрузках длительное время деформируются, не теряя сплошности; в) квалификация специалиста с возрастом повышается, но иссякают его физические возможности; г) хищники сильнее плотоядных, но положение последних в пищевой пирамиде более устойчиво, и т.п. Очевидно, что существует оптимальное соотношение сложности и простоты, гибкости и твердости, единства и многообразия - некая золотая середина, при которой условия существования системы наиболее благоприятны, гармонизированы с внешней средой, а ее устойчивость максимальна.

Итак, энтропия - сложное, многогранное и противоречивое понятие с не проясненным до конца смыслом. В этом отношении показателен ответ известного физика – теоретика, академика РАН А.А. Ансельма [1] на вопрос: понимаем ли мы природу энтропии? “Мне кажется, что в некоторой степени – да, но не полностью”. Классическое определение энтропии, как “функции S состояния системы, дифференциал которой в элементарном обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества тепла, сообщенного системе, к абсолютной температуре последней” [3] не дает представления о ее сущности, это всего лишь пересказ математической формулы. В то же время, имеются более простые, наглядно представимые аналоги энтропии, например деформация нагруженной системы, которая, так же как и энтропия, со временем только увеличивается, но при этом непротиворечиво, через упругость, отражает разное направление развития на этапах становления и деградации. Причем, в диапазоне изменения, совместимом с жизненным циклом пластичных систем, относительная энтропия, как показано выше, равна относительной деформации. Поэтому для исследования общих закономерностей эволюции экогеосистем, отражающих ход энтропии во времени, особенно для количественных оценок этих закономерностей (см. например [5]), целесообразно, как нам кажется, использовать более наглядное и понятное представление энтропии, ее механический аналог – деформацию.

Литература

1. Ансельм А.А. Что такое время // Звезда, 9, 1998, с.174-190
2. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1976, 445 с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1980, 976 с.

4. Вялов С.С. Реология мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 2000, 464 с.
5. Коновалов А.А., Арефьев С.П. Деформационная модель радиального роста древесных растений и ее аналитические возможности // Сиб. экологический журнал, 2010, № 3, с. 22-35.
6. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1974, 255 с.
7. Марков А.В. Взлет и падение видов: новые данные подтверждают старую идею “эволюционного цикла”// [http:// elementy.ru/news?discuss =430634](http://elementy.ru/news?discuss=430634).
8. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432
9. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
10. Савельев Б.А. Гляциология, М., МГУ, 1991, 288 с.
11. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская Энциклопедия, 1980, 1600 с.
12. Солженицын А.И. Угодило зернышко промеж двух жерновов // НМ, 1998, 11. С. 93-153.
13. Философский словарь. М.: Госполитиздат, 1981, 445 с.
14. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: ИЛ, 1947. 120 с.
15. Michael Foote, James S. Crampton et al. Rise and Fall of Species Occupancy in Cenozoic Fossil Mollusks // Science. 2007. V. 318. P. 1131–1134.