

PHISICAL SCIENCES

TO ENERGODYNAMIC THEORY OF EVOLUTION

Etkin V.

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Advisor to the Vice-Rector for Science of the Research Center of
Togliatti State University. Togliatti,
Russian Federation*

К ЭНЕРГОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ И ИНВОЛЮЦИИ

Эткин В.А.

*доктор технических наук, профессор, Советник проректора по науке исследовательского центра
Тольяттинского государственного университета. Тольятти,
Российская Федерация.*

Abstract

It is shown that the presence of a reversible component of the energy exchange of biological systems with the environment slows down their degradation and increases the duration of their reproductive period, which contributes to their "survival". This trend is intensifying as the biosystems become more complex and they acquire new degrees of freedom, which eliminates the well-known contradiction of thermodynamics with the theory of biological evolution. The parameters of nonequilibrium are proposed, which allow to reflect the simultaneous flow in the biosystems of the processes of evolution and involution. The advantages of ergodynamics in the study of these processes are shown.

Аннотация

Показано, что наличие обратимой составляющей энергообмена биосистем с окружающей средой замедляет их деградацию и увеличивает продолжительность их репродуктивного периода, что способствует их «выживаемости». Эта тенденция усиливается по мере усложнения биосистем и приобретения ими новых степеней свободы, что устраняет известное противоречие термодинамики с теорией биологической эволюции. Предложены параметры неравновесности, позволяющие отразить одновременное протекание в биосистемах процессов эволюции и инволюции. Показаны преимущества эргодинамики при изучении этих процессов.

Keywords: evolution and involution, equilibrium and non-equilibrium states, relaxation and anti-relaxation processes, entropy and non-entropy criteria of evolution, survival principle.

Ключевые слова: эволюция и инволюция, равновесные и неравновесные состояния, релаксационные и антирелаксационные процессы, энтропийные и неэнтропийные критерии эволюции, принцип выживания.

1. Введение.

К настоящему времени в естествознании накопилось достаточно фактов, свидетельствующих о том, что природе присуща не только разрушительная, но и созидательная тенденция. Однако классическая термодинамика [1] и термодинамика необратимых процессов [2] по-прежнему приписывает любым системам, включая Вселенную в целом, стремление к «хаосу». Многочисленные дискуссии о границах применимости второго закона термодинамики, не прекращающиеся до сих пор, так и не дали ответа на причины его неприменимости к живой природе. Противоречие термодинамики с теорией биологической эволюции» остаются «вопиющими» [3].

Указанное противоречие породило даже новую концепцию естествознания, утверждающую существование двух диаметрально противоположных физических принципов, управляющих процессами в объектах живой и неживой природы [4] Если следовать этой концепции, науке придётся отка-

заться от представлений о существовании универсальных законов природы, справедливых для любых материальных систем.

Цель настоящей статьи – устранить указанное противоречие с более общих позиций эргодинамики как термодинамической теории, не исключая из рассмотрения какую-либо (обратимую или необратимую) часть реальных процессов переноса и преобразования любых форм энергии [5].

2. Суть противоречия термодинамики с теорией биологической эволюции.

Известно, что классическая термодинамика [1] и существующая теория необратимых процессов (ТНП) [2], предписывают биосистемам инволюцию (деградацию) после изоляции их от внешней среды или при установлении их равновесия с этой средой, если она обладает меньшим числом степеней свободы, чем биосистема. Теория эволюции биосистем, напротив, признает возможность их эволюции при взаимодействии с окружающей средой, даже если она менее упорядочена. Наглядным примером является возникновение небесных тел и

жизни в какой-либо части изолированной в целом Вселенной, включающей в себя «всё сущее». Попытки объяснить их эволюцию экспортом «негэнтропии» из других миров или областей бесконечной Вселенной обречены на неудачу ввиду их противоречия более общей формулировке закона возрастания энтропии, допускающей обмен ею с окружающей средой [6].

На этом фоне практически не слышно голосов тех исследователей, которые подчёркивают определяющую роль в эволюции внутренних процессов совершения работы «против равновесия» или потоком извне упорядоченной («свободной») энергии [7,8]. Очевидным примером является фотосинтез растений, при котором свободная энергия поступает с потоком излучения. Эта позиция подкрепляется тем обстоятельством, что количество упорядоченной энергии, необходимое для поддержания биосистем в неравновесном состоянии, намного превышает ту, что требуется для поддержания баланса энтропии. Особенно велика эта разница для холоднокровных животных, у которых отвод энтропии с инкрементами является единственным способом отвода связанной энергии. Однако это противоречит концепции «самоорганизации», поскольку подвод свободной энергии означает совершение работы «против равновесия» и подчёркивает принудительный характер этого процесса.

Устранение возникших противоречий требует создания теории, которая с самого начала исходила бы из признания того, что свойства целостной живой системы не есть сумма свойств её частей, а рассматривала бы их как единую неоднородную систему. Эта концепция отражена в принципах теоретической биологии, сформулированных Э. Бауэром [9]. Первый его принцип гласит: «Все живые системы никогда не находятся в равновесии и выполняют за счёт своей свободной энергии постоянно работу против равновесия». Эта концепция опиралась на труды известного немецкого эмбриолога Г. Дриша, который ещё в конце XIX века доказал на основе обширного экспериментального материала, что процессы структурообразования определяются не только и не столько свойствами самих клеток, сколько их положением в развивающемся зародыше [10].

Однако большинство современных теорий биологической эволюции так или иначе опираются на «квазитермодинамику» Л. Онзагера, которая заведомо исключала из рассмотрения обратимую составляющую реальных процессов [11]. Происходило это потому, что основные величины, которыми оперировала эта теория – термодинамические силы X_i и потоки J_i – находились из выражения для скорости возрастания энтропии, на которую полезная работа, как известно, не влияет. Именно поэтому мы вправе ожидать успехов в этом направлении с позиции «термокинетики» [12], которая распространяет принципы ТНП на процессы полезного преобразования энергии в объектах живой и неживой природы.

3. Параметры неоднородности систем.

Чтобы не обсуждать «априори» методологические особенности энергодинамики и ее исходные принципы, применим логико - математический подход к нахождению ее основного уравнения, в котором наглядно просматриваются все сделанные при этом допущения [12].

Рассмотрим с этой целью объединённое уравнение 1-го и 2-го начал равновесной термодинамики открытых систем в форме соотношения Гиббса:

$$dU = TdS - pdV + \sum_k \mu_k dN_k, \quad (1)$$

где U, S, V и N_k – внутренняя энергия, энтропия, объем и число молей k -го компонента системы; T, p, μ_k – абсолютная температура, давление и химический потенциал этого компонента.

Для краткости дальнейших выкладок представим это соотношение в компактной форме, используя понятия обобщённых потенциалов ψ_i и обобщённых координат Θ_i любого i -й процесса равновесного энергообмена системы с окружающей средой:

$$dU = \sum_i \psi_i d\Theta_i. \quad (2)$$

В равновесных системах, к которым относится это уравнение, изменение любого из параметров Θ_i как количественной меры i -го энергоносителя обусловлено исключительно переносом его через границы системы. Это позволяет выразить их изменение во времени t известным выражением:

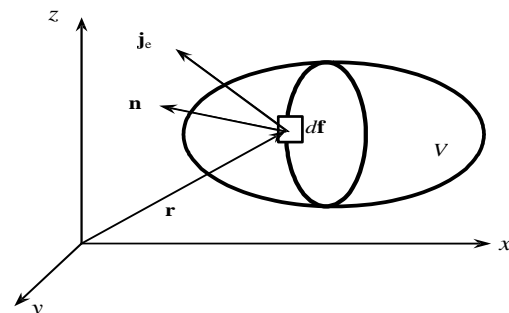


Рис. 1. Поток энергии через границы системы.

$$d\Theta_i/dt = - \int \mathbf{j}_i^e \cdot d\mathbf{f}, \quad (3)$$

где $\mathbf{j}_i^e = \rho_i \mathbf{v}_i$ – плотность потока энергоносителя Θ_i через векторный элемент $d\mathbf{f}$ замкнутой поверхности системы в направлении внешней нормали \mathbf{n} (рис.1); \mathbf{v}_i – скорость его переноса.

Подставляя (3) во (2), имеем:

$$dU/dt = - \sum_i \psi_i \int \mathbf{j}_i^e \cdot d\mathbf{f}. \quad (4)$$

Поскольку обобщённые потенциалы ψ_i одинаковы во всех точках равновесной системы, их можно ввести под знак интеграла:

$$dU/dt = - \sum_i \psi_i \int \mathbf{j}_i^e \cdot d\mathbf{f}, \quad (5)$$

Произведение $\psi_i \mathbf{j}_i^e$ представляет собой i -ю составляющую плотности потока энергии $\mathbf{j}_u = \sum_i \psi_i \mathbf{j}_i^e$ через элемент $d\mathbf{f}$ поверхности системы. Переходя в (5) на основании теоремы Остроградского–Гаусса к интегралу по объёму системы V , приходим к обобщённому выражению закона сохранения энергии

для произвольной области континуума, предложеному Н. Умовым в 1873 г.:

$$dU/dt = - \int \nabla \cdot \mathbf{j}_e dV. \quad (6)$$

Представляя дивергенцию $\nabla \cdot \mathbf{j}_e = \sum_i \nabla \cdot (\psi_i \mathbf{j}_i)$ в виде суммы двух слагаемых $\sum_i \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i + \sum_i \mathbf{j}_i \nabla \psi_i$, найдём:

$$dU/dt = - \sum_i \int \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i dV + \sum_i \int \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i dV, \quad (7)$$

где $\mathbf{x}_i \equiv -\nabla \psi_i$ – интенсивная величина, характеризующая напряженное состояние системы и являющаяся причиной возникновения в ней релаксационных процессов. В теории необратимых процессов (ТНП) она именуется «термодинамической силой в ее энергетическом представлении» [13].

Первая сумма в это выражении характеризует поток энергоносителей Θ_i через границы системы, т. е. процессы переноса ими энергии в i -й форме без превращения ее в какие-либо иные формы. Таковы теплообмен, массообмен, диффузия k -х веществ, объёмная деформация и т. п. процессы. Этот вид энергообмена именуется в энергодинамике *энергопереносом*. Будучи квазистатическими (бесконечно медленными), такие процессы не нарушают равновесия, что и делает их объектом исследования классической термодинамики.

Иной характер имеют процессы, описываемые членами 2-й суммы (7). Эти процессы, даже будучи квазистатическими, порождают потоки $\mathbf{j}_i = \rho_i d\mathbf{r}_i/dt$ внутри самой системы, перераспределение энергоносителя Θ_i по объёму системы, вызывая перераспределение энергоносителя Θ_i под действием силы \mathbf{x}_i . Совершаемая при этом работа $\mathbf{x}_i \cdot d\mathbf{r}_i$ является внутренней и характеризует процесс превращения i -й формы энергии в j -е.

Если теперь вынести за знак интеграла некоторое среднее значение Ψ_i потенциала ψ_i , скорости $\mathbf{v} = d\mathbf{r}_i/dt$ и градиента $\nabla \psi_i$, выражению (7) можно придать форму основного уравнения энергодинамики для неравновесной системы как целого¹⁾:

$$\dot{U} = \sum_i \Psi_i d\Theta_i/dt - \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i, \quad (8)$$

где $U \equiv dU/dt$; $\mathbf{J}_i = \Theta_i \mathbf{v}_i = \int \mathbf{j}_i dV$ – полный импульс внутреннего движения энергоносителя Θ_i в неоднородной системе (подобного кинетической энергии диффузии); $\mathbf{X}_i = \mathbf{J}_i^{-1} \int \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i dV$ – средняя величина напряжённости поля потенциала ψ_i в ней.

Несложно показать, что введённые таким образом потоки \mathbf{J}_i являются производными по времени от специфических параметров пространственной неоднородности $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \Delta \mathbf{R}_i$, где $\Delta \mathbf{R}_i$ – средняя величина смещения центра величины Θ_i от его положения в однородной системе, производная по времени от которой определяет среднюю скорость этого процесса $\bar{\mathbf{v}}_i = d\mathbf{R}_i/dt$. Эти параметры харак-

теризуют отклонение системы в целом от внутренне равновесного состояния и являются теми дополнительными переменными состояниями, которые позволяют распространить методы классической термодинамики на неравновесные системы и на тепловые процессы в них. Частными случаями параметра \mathbf{Z}_i являются векторы поляризации \mathbf{D} и намагничивания \mathbf{M} диэлектриков и магнетиков единичного объёма [5].

Уравнение (8) принципиально отличается от (2) явным учётом неравновесности исследуемых систем и скорости реальных процессов с помощью интенсивных \mathbf{X}_i и экстенсивных $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \mathbf{R}_i$ параметров пространственной неоднородности. При таком подходе термодинамические силы \mathbf{X}_i и потоки \mathbf{J}_i находятся непосредственно как производные от энергии системы U по этим параметрам $\mathbf{X}_i = -(\partial U/\partial \mathbf{Z}_i)$ и как производные от них же по времени $\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i/dt$. Это освобождает от необходимости привлечения для их нахождения ряда других дисциплин и составления на их основе громоздких уравнений баланса энтропии, энергии, массы, заряда, импульса и т. п. [14]. При этом устраняется характерный для ТНП произвол в разбиении скорости возрастания энтропии dS/dt на сомножители J_i и X_i , затрудняющий понимание их смысла и влияющий на некоторые результаты ее приложения [15].

Нетрудно заметить, что при $\mathbf{X}_i, \mathbf{Z}_i = 0$ и $\Psi_i = \psi_i$ уравнение (8) принимает вид (2). Это означает, что энергия неравновесных систем как функция их состояния имеет в рассматриваемом случае вид $U = U(\Theta_i, \mathbf{R}_i)$. Это свидетельствует о несостоятельности гипотезы локального равновесия, согласно которой состояние элементов неравновесного континуума характеризуется тем же набором переменных, что и в равновесии (вопреки наличию в них сил X_i).

4. Единство процессов эволюции и инволюции биологических систем

Приложим теперь основное уравнение энергодинамики (8) к биологическим системам. Введение в основное уравнение (8) недостающих параметров неравновесности позволяет получить для них целый ряд нетривиальных следствий [16]. Одним из них является вывод, что после изоляции неравновесной системы ($\dot{U} = 0, \sum_i \Psi_i d\Theta_i/dt = 0$) в ней ещё некоторое время протекают процессы взаимопревращения энергии, подчиняющиеся условию

$$\sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i = 0. \quad (9)$$

Учтём теперь, что изменение любого параметра \mathbf{Z}_i может быть вызвано не только релаксацией i -й степени свободы, но и совершением внешней W_i^e и внутренней W_i^u работы силами \mathbf{F}_i и \mathbf{X}_i . Это обстоятельство может быть выражено уравнениями баланса величины \mathbf{Z}_i , сходными с уравнениями баланса энтропии, предложенным И. Пригожиным [6]:

$$d\mathbf{Z}_i = d_e \mathbf{Z}_i + d_u \mathbf{Z}_i + d_r \mathbf{Z}_i, \quad (10)$$

¹⁾ Здесь сохранено принятое в термодинамике правило знаков для теплоты и работы: подведенная к системе теплота и совершенная ею работа считаются положительными.

где $d_e \mathbf{Z}_i = dW_i^e / \mathbf{X}_i$; $d_u \mathbf{Z}_i = dW_i^u / \mathbf{X}_i$; $d_r \mathbf{Z}_i = dW_i^r / \mathbf{X}_i$ < 0 – составляющие полного изменения параметра \mathbf{Z}_i , вызванное совершением соответственно внешней W_i^e , внутренней W_i^u и диссипативной W_i^r работы.

Соответственно этому и поток $\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i/dt$ как обобщённая скорость любого i -го процесса включает в себя внешнюю \mathbf{J}_i^e , обратимую внутреннюю \mathbf{J}_i^u и диссипативную внутреннюю \mathbf{J}_i^r составляющие:

$$\mathbf{J}_i = d_e \mathbf{Z}_i/dt + d_u \mathbf{Z}_i/dt + d_r \mathbf{Z}_i/dt = \mathbf{J}_i^e + \mathbf{J}_i^u + \mathbf{J}_i^r \quad (11)$$

В таком случае условие (9) принимает в изолированных системах ($\mathbf{J}_i^e = 0$) вид:

$$\sum_i \mathbf{X}_i \cdot (\mathbf{J}_i^u + \mathbf{J}_i^r) = 0. \quad (12)$$

Согласно этому выражению, до тех пор, пока в системе протекают релаксационные процессы ($\mathbf{J}_i^r \neq 0$), в ней будут протекать и противоположно направленные (антидиссипативные) процессы совершения внутренней работы «против равновесия». В энергодинамике это положение именуется «принципом противонаправленности» неравновесных процессов, который можно рассматривать как математическое выражение закона «единства и борьбы противоположностей» в диалектике [17].

В данном случае этот принцип означает, что приближение к равновесию одних степеней свободы системы ($\mathbf{X}_i; \mathbf{J}_i > 0$) сопровождается удалением от него других, j -х степеней свободы ($\mathbf{X}_j; \mathbf{J}_j <$

0). Отсюда следует единство процессов эволюции (усложнения) и инволюции (деградации) неравновесных систем. При этом энергодинамика позволяет отразить эволюцию или инволюцию не только биологической системы в целом, но и по каждой присущей ей степени свободы. Для этой цели подходит любой из параметров неравновесности: $\mathbf{X}_i; \mathbf{Z}_i$ или \mathbf{R}_i , который может отразить как приближение ее к равновесию

$$d\mathbf{X}_i, d\mathbf{Z}_i, d\mathbf{R}_i < 0, \text{ (инволюция) } \quad (13)$$

так и удаление от него [18]:

$$d\mathbf{X}_i, d\mathbf{Z}_i, d\mathbf{R}_i > 0. \text{ (эволюция) } \quad (14)$$

В отличие от энтропии, эти параметры имеют простой и ясный физический смысл, что делает их применение в качестве критериев эволюции и инволюции биологической и любой иной системы очевидным и прозрачным. Столь же очевидным становится и противоположная направленность процессов не только в разных степенях свободы системы, но и в ее различных частях (областях, фазах и компонентах) системы, относящихся к одной и той же степени свободы. Поскольку в изолированных системах все процессы самопроизвольны, под *самоорганизацией* системы следует понимать именно эту их упорядочивающую часть.

4. «Принцип выживания» как основной закон эволюции биосистем

Классическая термодинамика ничего не может сказать о скорости приближения биосистемы к равновесию, поскольку время как физический параметр не входит в ее уравнения. Уравнение (8) устраняет этот недостаток и позволяет поставить вопрос о влиянии сложности биосистемы на продолжительность ее жизни. Согласно (12), в сопоставимых условиях (в отсутствие неконтролируемого метаболизма и работы внешних сил W_i^e) скорость релаксации системы, предписываемой 2-м началом термодинамики, зависит от скорости обратимых процессов \mathbf{J}_i^u , с необходимостью возникающих в ней в силу принципа противонаправленности неравновесных процессов. В таком случае вызывает несомненный интерес сравнить скорость приближения к равновесию двух произвольных биосистем различной сложности (с разным числом степеней свободы).

Если в произвольной системе «заморозить» каким-либо образом химические или любые другие процессы, связанные с совершением u обратимой внутренней работы (т. е. устремить \mathbf{J}_i^u к нулю), то скорость приближения ее к равновесию станет равной

$$\dot{U}_r = - \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^r. \quad (15)$$

Сравнивая (12) и (15), находим, что их отношение определяется выражением:

$$U / U_r = 1 + \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^u / \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^r. \quad (16)$$

Нетрудно видеть, что это соотношение может быть как больше, так и меньше единицы, в зависимости от знака суммы $\sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^u$, поскольку $\sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^r$ всегда положительна. Если $\sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^u < 0$, т. е. в системе имеет место работа «против равновесия» (и сил \mathbf{X}_i), то скорость приближения такой системы к равновесию уменьшается в сравнении с системой, где такие процессы отсутствуют:

$$U / U_r = 1 - \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^u / \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i^r, \quad (17)$$

и может стать равно нулю, когда работа «против равновесия» станет равной работе диссипативного характера. Этот случай соответствует наступлению стационарного состояния. К числу макропроцессов, в которых осуществляются такие противонаправленные изменения состояния, относится так называемый «активный транспорт» веществ, который приводит к накоплению в соответствующих органах реагентов с относительно высокой энергией Гиббса. Таковы же процессы «восходящей диффузии» в сплавах, сопровождающиеся переносом веществ в сторону возрастания их концентрации c_k , а также так называемые «сопряжённые химические реакции», одни из которых протекают в естественном направлении понижения сродства, а другие – в противоположном направлении. Некоторые из них, подобно циклическим реакциям Белоусова-Жаботинского («химическим часам»), могут продолжаться неограниченно долго.

Все процессы такого рода требуют определенной организации системы и потому возникают лишь на определенной стадии их эволюции. От их интенсивности зависит и продолжительность жизни биосистем, а также их репродуктивного периода, что влияет на эволюцию всей последующей популяции этого вида биоорганизмов.

Здесь и находится ключ к пониманию общей направленности эволюции биологической системы, понимаемой как переход от простого к сложному. Такая направленность эволюции не является чем-то, навязанным «высшим разумом» или дарвиновской «борьбой за существование» – она является следствием чисто физических причин, отражённых в энергодинамическом принципе «противонаправленности» неравновесных процессов. Таковы любые процессы, ведущие к упорядочиванию системы, приобретению ею новых свойств (увеличению числа степеней свободы), усложнению структуры и т. п.

Вместе с тем «отсрочка» наступления в биосистемах равновесия, достигаемая за счёт протекания в них обратимых процессов, настолько близка дарвиновской идее «борьбы за существование», что её можно для наглядности также назвать «принципом выживания». Этот принцип можно сформулировать кратко в виде утверждения: «*Эволюционные процессы, протекающие в биологических системах, направлены в сторону увеличения продолжительности их жизни*». Данное положение является настолько общим, что его можно считать *основным законом биологической эволюции*. Этот закон отнюдь не противоречит классической термодинамике и её 2-му началу, что снимает отмеченное И. Пригожиным их «вопиющее противоречие» [3].

5. Обсуждение результатов.

Покажем теперь, что известная «триада» дарвиновского учения об эволюции [18] – *приспособляемость, изменчивость и наследственность* – являются следствием сформулированного выше энергодинамического закона эволюции. Рассматривая биологические объекты как неравновесные системы, погруженные в неравновесную окружающую среду, энергодинамика углубляет наши представления о равновесии. Одно дело, когда и система, и окружающая среда однородны (т. е. в них отсутствуют как дальнедействующие, так и близкодействующие силовые поля). Тогда их равновесие соответствует прекращению процессов как в окружающей среде, так и в системе. Условием такого внешнего равновесия является равенство соответствующего потенциала (температуры, давления, химического, электрического и т. п. потенциалов) во всех частях системы и окружающей среды. Резльтирующие каких-либо сил X_i в этом случае равны нулю, что соответствует *бездействию*. Именно с таким видом внешнего равновесия имеет дело классическая термодинамика. Однако классической термодинамике было чуждо понятие силы. Поэтому она извратила смысл понятия равновесия как равнодействия сил, подменив его бездействием (отсутствием каких-либо процессов).

Иного рода состояние наступает, когда и система, и окружающая среда неоднородны и термодинамические силы X_i в них отличны от нуля. Тогда внешнее равновесие означает их *равнодействие*, что отнюдь не исключает протекания в системе и в окружающей среде внутренних процессов. Таким образом, внешнее равновесие отнюдь не означает наличия полного (внешнего и внутреннего) равновесия. Именно с таким случаем имеет дело термодинамика биологических и экологических процессов. Процессы установления равновесия такого рода адиабатичны и потому не подчиняются энтропийным критериям эволюции и равновесия. Между тем именно эти процессы ответственны за эволюцию биологических систем в направлении установления равновесия между ними и окружающей средой. Это и есть дарвиновская *приспособляемость* в ее энергодинамическом понимании. В ходе таких процессов происходит приобретение организмом новых свойств (новых степеней свободы), которые отсутствовали у него в состоянии внутреннего равновесия. Отсутствие равновесия с окружающей средой проявляется в наличии термодинамических сил X_i , порождающих изменение состояния как системы, так и окружающей её среды. Такова термодинамическая причина *изменчивости* организмов. Результатом этого процесса является равенство сил X_i в системе и окружающей среде, а не их внутреннее равновесие. Стремление к такому равновесию отнюдь не лишает биосистему способности к совершению полезной внешней работы и к внутренним взаимопревращениям энергии.

Как следует из принципа выживания, частичное равновесие удлиняет время пребывания системы в неравновесном состоянии. Тогда при наличии неизбежных мутаций наследственного кода увеличивается степень их вероятности. Таким образом, лучше «приспособленные» индивиды приобретают преимущество и в передаче генной информации. Такова *энергодинамическая природа* наследственности. Характерно, что все три названные основные положения дарвиновского учения об эволюции оказываются следствием единого критерия «выживаемости» – минимума скорости приближения системы к равновесию.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что предложенный подход позволяет уточнить ряд положений существующих теорий эволюции. Так, в «синтетической теории эволюции», называемой часто «неодарвинизмом», «принцип выживаемости» меняет причинно-следственные отношения: естественный отбор закрепляет лишь последствия генных мутаций, которые соответствуют лучшей адаптации организмов к окружающей среде, а не те благоприобретенные признаки, которые организм приобретает в онтогенезе.

В «теории нейтральности» эволюции энергодинамика может объяснить механизм элиминации (сохранения случайных генетических изменений), поскольку с позиций «принципа выживания» вероятность этого процесса увеличивается с удлинением срока существования лучше приспособленного (более близкого в внешнему равновесию) индивида. В

теории «скачкообразной эволюции» («пунктуализме») энергодинамика способна объяснить скачкообразное возрастание скорости изменения генов, поскольку она признает неизбежность «бифуркации» (ветвления траекторий процесса) по мере удаления от равновесия. В теории «молекулярной эволюции» энергодинамика способна объяснить изменение состава живых организмов в онтогенезе, поскольку естественное старение сопровождается уменьшением их удельной инергии. Таким образом, энергодинамика может послужить «пробным камнем» любой из эволюционных теорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Базаров И.П.* Термодинамика. Изд. 4-е.- М.: Высшая школа, 1991.
2. *Де Грот С.Р., Мазур П.* Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964.
3. *Пригожин И.* Время, структура и флуктуации (нобелевская лекция 1977 года) // Успехи физических наук. 1980. Т. 131. С.185–207.
4. *Рубин А.Б.* Термодинамика биологических процессов. М.: МГУ, 1984
5. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии) – СПб.; «Наука», 2008.- 409 с.
6. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1960, 128 с.
7. *Руденко А. П.* Теория саморазвития открытых каталитических систем. М., Наука, 1969).
8. *Gladyshev G.* Thermodynamics Theory of the Evolution of Living Beings.- New York: Nova Science Publishers, Inc.- 1997.
9. *Бауэр Э.* Теоретическая биология. М. — Л.: Изд. ВИЭМ, 1935.
10. *Driesch H.* Die Biologie als selbständige Grundwissenschaft, Leipzig 1893.
11. *Onsager L.* Reciprocal relations in irreversible processes. //Phys. Rev., 1931. – **237**(14). – P.405...426; **238**(12). – P.2265...2279.
12. *Эткин В.А.* Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. Тольятти, 1999, 228 с.
13. *Дьярмати И.* Неравновесная термодинамика. Теория поля и экстремальные принципы. – М., Мир, 1974)
14. *Эткин В.А.* Об основном уравнении неравновесной термодинамики. //Журн. физ. Химии, 8(62), 1988. 2246 -2249.
15. *Эткин В.А.* О единственности движущих сил необратимых процессов. //Журнал физической химии, 63 (1989), 1660-1662.
16. *Etkin V.* Verifiable Forecasts of Energodynamics. //Scientific Israel- Technological Advantages",16(1-2), 2014,130-137.
17. *Etkin V.* Principle of non-equilibrium processes counter directivity. // Reports by independent authors, 37(2016), 86 – 92.
18. *Darwin Ch.* On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London: John Murra, 1859

