

## ПРАВОМЕРНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМИНА «ПАССИВНЫЙ» К ЖИВОЙ МАТЕРИИ С ПОЗИЦИИ ТЕРМОДИНАМИКИ

На основе анализа термодинамической сущности биологических форм движения материи показана неправомерность применения термина “пассивный” к живым организмам. В живой природе с ее циклическими процессами в принципе не может быть движений без затраты энергии. Другое дело, что в противоположной фазе, предшествующей так называемому пассивному состоянию фазы цикла, энергия “запасается”, а точнее потенцируется в первой фазе цикла. И, следовательно, вторая фаза тоже не может считаться пассивной.

**Ключевые слова:** пассивные и активные процессы, термодинамические силы, градиенты параметров, фазы движения.

В литературе, классифицирующей формы движения живой материи, в зависимости от энергообеспечения рассматривают «активные» процессы, где происходят сиюмоментные энергетические затраты, и так называемые «пассивные», где для течения процесса по общепринятым представлениям не требуется сиюмоментное поступление энергии).

В качестве примеров употребления термина – активных процессов можно указать мышечное сокращение (на стадии укорочения), процесс проведения нервного импульса, работа калий – натриевых насосов, фотосинтез, синтез белков и т. д. Все эти процессы для своего течения потребляют энергию из универсального биологического энергоносителя АТФ или, в случае фотосинтеза потребляют энергию потоков световых фотонов.

Из многочисленных процессов, трактуемых и именуемых как «пассивные» – назовем растяжение мышечного волокна после его расслабления, осмос, процессы внутриклеточной и межклеточной диффузии, трансмембранный пассивный обмен, растрескивание оболочки семян, пассивная фаза дыхания – выдох и пассивная фаза сердечного цикла – диастола и заполнение нижележащих отделов сердца, волнообразный полет воробьиных на фазе снижения и, парящий полет орлов, коршунов, торможение высшей нервной деятельности животных и человека.

Живая материя с позиций термодинамики является диссипативной средой. Поэтому течение любых биологических процессов, согласно второго начала, сопровождается рассея-

нием энергии и ростом энтропии. Такие процессы без подпитки энергии, восстанавливающей неравновесность, неизбежно приходят в равновесное состояние, при котором исчезает всякое макроскопическое движение. Без подвода энергии из окружающей среды и негэнтропии, биоструктура вскоре пришла бы в равновесное состояние. При этом жизнь с ее функциональной активностью прекращается. Вот как формулирует второе начало термодинамики Пригожин И.: «... в любом макроскопическом участке системы приращение энтропии, обусловленное течением необратимых процессов, является положительным». Что понятно с позиции энергозатрат. Согласно второму началу в формулировке Пригожина:  $d_i S \geq 0$ , здесь  $d_i S$  – продукция энтропии внутри системы в результате протекания необратимых самопроизвольных процессов [6]. Течение самопроизвольных термодинамических процессов (термодинамических потоков массы и энергии) возникает под действием термодинамических сил и подчиняется уравнению Онзагера:  $J_i = \sum L_{ik} X_k$  (1), где  $J_i$  и  $X_k$  – соответственно термодинамические потоки массы и энергии, протекающих диссипативных процессов и термодинамические силы их порождающие;  $L_{ik}$  – феноменологические коэффициенты Онзагера, зависящие от конкретных физических (физиологических) процессов и условий их протекания [5]. При этом необходимо также отметить, что в стационарном состоянии (для биологии гомеостаз – важнейшее условие) изменение скорости (ускорение) возникновения энтропии в системе прекращается, и создаются условия минимального произ-

водства энтропии:  $d^2S/dt^2 = 0$  и  $dS/dt = \min$  [5].

Каковы причины, вызывающие неравновесность термодинамической системы? Причины, формирующие градиенты параметров системы и как следствие, порождающие термодинамические силы, которые при определенных условиях вызывают термодинамические потоки массы, энергии и порождают самопроизвольные (пассивные) процессы.

Общезначимое определение силы, включающее и понятие термодинамических сил, и всю совокупность силовых проявлений, изучаемых биофизикой, имеет следующий вид:  $F = -\text{grad}E_n$  (2). В (2) слева сила, справа градиент потенциальной энергии неравновесной системы. Согласно (1) термодинамические силы вызывают потоки энергии и массы (порождают процессы) и по причине того, что термодинамические процессы являются диссипативными, т. е. идут с потерей направленной энергии, то необходимо постоянное или периодическое восстановление потенциальной энергии системы, и соответственно восстановление градиентов. В соответствии с законом сохранения и превращения энергии, восстановление потенциальной энергии системы возможно только за счет внешней кинетической энергии, производящей работу над системой. При превращении одного вида энергии в другой выполняются равенства:  $\mp \Delta E_n = L = \pm \Delta E_k$ ;  $L = F \cdot \Delta S = P \cdot \Delta V$ ;  $F = -\text{grad}E_n$  (3) [7, 10]. В (3)  $\Delta E_n$  – изменение потенциальной энергии системы;  $L$  – работа сил;  $\Delta E_k$  – изменение кинетической энергии системы;  $F$  – сила;  $\Delta S$  – перемещение;  $P$  – давление;  $\Delta V$  – изменение объема.

Согласно (3) для восстановления неравновесности системы, ее способности порождать силы, вызывающие самопроизвольные процессы, необходимо над системой произвести работу с затратой кинетической энергии. Энергия для производства работы по восстановлению неравновесности продуцируется в живой материи при протекании активных процессов. Основным источником энергии, функциональную основу жизни представляют циклические ферментативные реакции окисления и синтеза. Именно в силу цикличности этих реакций поддерживается постоянство неравновесности живой системы, формируются градиенты температур и давлений. К тому же на стадии окисле-

ния до 40% выделившейся энергии связывается в универсальном энергоносителе АТФ в удобный для живого вид потенциальной энергии, используемый во многих активных процессах. При этом производство кооперативной энергии диссипативной структурой должно превышать ее диссипацию при функционировании последней. В противном случае у структуры не останется кооперативной энергии для исполнения своих функциональных возможностей. В этом кроется принципиальное условие жизни

$$\frac{dE_{\text{кооп}}}{dt} > \frac{dE_{\text{диссип}}^{\text{max}}}{dt} \quad (4)$$

В (4)  $E_{\text{кооп}}$  – энергия направленного кооперативного движения, переносимая результирующим импульсом и получаемая из потенциальной энергии неравновесности в единицу времени;  $E_{\text{диссип}}^{\text{max}}$  – максимальная энергия направленного кооперативного движения, переносимая результирующим импульсом, которую данная многочастичная система способна в единицу времени переводить в хаотическую форму под действием рассеяния. Назовем ее диссипативным порогом [8]. Выражение (4) подтверждает гипотезу А.И. Зотина «о связываемой (удерживаемой) удельной диссипации». Эта величина «тот самый дополнительный источник энергии, который создает ее поток внутри системы, необходимый для созидания диссипативных структур» [10]. Активная энергия (свободная энергия или энергия Гиббса), возникающая в результате циклических реакций окисления-синтеза, обеспечивает восстановление всех градиентов. В формировании кооперативного движения за диссипативным порогом и в производстве АТФ за счет энергии Гиббса и кроется физический смысл  $\psi_n$  – функции Зотина. Именно цикличность биохимических процессов, обеспечивающих неравновесность в клетке, наряду с канализацией потоков, обеспечивающей снижение диссипативного порога, и способствуют выполнению условия (4), а значит, формируют устойчивые диссипативные структуры живой материи.

Из-за рассеяния (диссипации) кооперативной энергии по причине действия эффекта вырождения результирующего импульса [8] диссипативная структура (в том числе и биологическая) должна быть открытой системой.

Рассмотрим выше указанные и некоторые другие так называемые «пассивные» процессы и покажем источники энергии для их протекания.

1) Растяжение мышечного волокна после его расслабления.

Авторами данной статьи в [3, 4] представлен альтернативный, принятой ныне веселовой модели, механизм мышечного сокращения, исходя из законов термо и гидродинамики. Показано, что фазовый характер цикла мышечного сокращения – результат последовательного взаимодействия активных процессов сокращения, вызванных неравновесностью состояния и накопленной при сокращении энергии упруго-эластичных сил, обеспечивающих растяжение расслабленного волокна. Свободная энергия, выделившаяся как следствие теплового эффекта реакций окисления, протекающих в объеме миоцита, при поперечном расширении и сокращении саркомера частично аккумулируется в виде потенциальной энергии упругих сил вязкоупругих элементов волокна. Энергия упругих сил и вызывает так называемый пассивный процесс растяжения, идущий с диссипацией энергии, порождаемой силами вязкости. В [3, 4] даны аналитические зависимости, связывающие совокупности активных и пассивных процессов мышечного сокращения.

2) Диффузия – самопроизвольное перемещение вещества из мест с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией вещества вследствие хаотического теплового движения молекул. Этот процесс подчиняется закону Фика и течет в направлении уменьшения концентрации

$$j_m = -D \frac{dC}{dx}. \quad (5)$$

В (5)  $j_m$  – плотность потока вещества;  $D$  – коэффициент диффузии;  $\frac{dC}{dx}$  – градиент концентрации [1, 2]. Если градиент концентрации не восстанавливать активными процессами, то диффузия прекратится. Так АТФ поступает к насосам активного транспорта благодаря разности концентраций между областями протоплазмы где, например, в циклических процессах гликолиза производится АТФ и областями активных насосов, где АТФ потребляется. Ион-

ная разность концентраций между протоплазмой и межклеточной жидкостью поддерживается работой калий-натриевых насосов, потребляющих для совершения работы АТФ. Это приводит к так называемому пассивному диффузионному оттоку ионов калия из клетки, где концентрация калия выше. Отток ионов калия из клетки в межклеточную жидкость описывается законом Нернста-Планка, который наряду с градиентом концентрации учитывает и градиент электрохимического потенциала.

Омос является разновидностью диффузии. Концентрация молекул воды в солевом растворе ниже, чем в чистой воде, что и вызывает диффузионный поток молекул воды в области с повышенной концентрацией солей. Но для создания осмотического давления опять же предварительно затрачивается «активная» энергия.

3) Пассивное перемещение ионов по вектору напряженности электрического поля. Это перемещение обусловлено затратой потенциальной энергии, аккумулированной в силовом электрическом поле [1,2]. И если разность потенциалов и, следовательно, потенциальную энергию поля не восстанавливать за счет работы активных процессов, то поле исчезнет и прекратится перемещение ионов. К примеру, трансмембранную разность потенциалов обеспечивают активные процессы калий-натриевых насосов.

4) Тепловой поток. Согласно второго закона термодинамики все процессы идут с диссипацией и ростом энтропии. В связи с этим встает вопрос о необходимости отвода тепла из организма в окружающую среду. Отвод тепла осуществляется как бы пассивным (самопроизвольным) процессом, подчиняющимся закону теплопроводности:  $q = -\lambda \cdot \text{grad}T$  (6). В (6)  $q$  – тепловой поток;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\text{grad}T$  – градиент температуры между внутренней средой организма и окружающей средой. Но ведь градиент температуры обеспечивается работой активных процессов [11].

5) Пассивная фаза нервного импульса. В [9] авторами данной статьи развиваются идеи Семенова С.Н. о фононной природе нервного импульса. Фононная волна возникает в результате активных конформационных процессов белковых молекул рецепторов или на постсинаптической мембране, усиливающей сигнал.

Это активные процессы идущие с поглощением АТФ. А вот по латеральной плоскости матрикса мембран фононный поток распространяется без активного потребления энергии. Но на фононный поток уже была затрачена энергия, часть которой теперь реализуется. Причем эта реализация сопровождается диссипацией, частично переводящей кооперативную энергию фононного потока в тепло. Поэтому без периодического усиления на постсинаптической мембране нервный импульс затухнет, не достигнув цели. В [9] приводятся аналитические зависимости, обосновывающие сказанное.

6) Самопроизвольное растрескивание оболочки семян. Это явление использует для своего проявления энергию упругих сил накопленных в процессе роста семени. Вода, присутствующая в оболочке между биологическими макромолекулами, вызывает в процессе роста семени растяжение макромолекул и тем самым накапливается потенциальная энергия упругих сил. Когда семена покидают растение, то испаряющаяся из оболочки влага уже не уравновешивает силы упругости и это приводит к растрескиванию оболочки, реализуя, таким образом, накопленную ранее для этих целей энергию.

7) Пассивные процессы, порождаемые градиентом гравитационного потенциала. Если за счет активных процессов, например, мышечной деятельности, увеличить высоту подъема массы, то массой будет накоплена дополнительная гравитационная энергия:  $\Delta U_{гп} = m \cdot g \cdot \Delta h$  (7). В (7)  $\Delta U_{гп}$  – увеличение гравитационной энергии массы  $m$  при увеличении высоты на  $\Delta h$ ;  $g$  – ускорение свободного падения. К так называемым пассивным процессам, использующим для своего течения ранее накопленную гравитационную энергию, относятся, к примеру, пассивная фаза выдоха, пассивное заполнение ниже лежащих отделов сердца, волнообразный полет воробьиных на стадии падения при сложении крыльев, перемещение косяков рыб по течению [11].

Точно так же парящий полет птиц или полет планеров внешне казалось бы не затрачивают энергии, но в действительности эту энергию они накопили на фазе подъема до необходимой высоты, накапливая энергию гравитации, которую и используют при спуске. При

этом для улучшения полета и экономии полученной энергии они дополнительно утилизируют энергию встречных потоков воздуха.

Пассивные процессы называются таковыми потому, что они для своего течения в данный конкретный момент (фазу цикла) не требуют дополнительной энергии, но используют энергию системы, накопленную до их возникновения.

Таким образом, энергия так называемого пассивного движения есть фаза утилизации потенциальной энергии, заложенной механизмом формирования неравновесного состояния (как условие существования всякой сложной системы, в т. ч. и живой), а соответственно градиентов, векторы которых формируют так называемое пассивное движение.

Термин пассивный применим к живой материи для обозначения лишь внешне бездеятельного состояния, (в психологии, социологии) как отсутствие активности на данном этапе, но не с точки зрения термодинамики. Более того, для адекватного поведения человека и высших животных (высшей нервной деятельности) необходим баланс процессов возбуждения и торможения, последние также требуют напряжений, соответственно энергозатратны, т. е. активны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Законы термодинамики жестки и неумолимы. В неживой природе пассивных видов движения не бывает и быть не может (как и «перпетуум мобиле»).

В живой природе с ее циклическими процессами в принципе тоже не может быть движений без затраты энергии. Другое дело, что в противоположной фазе, предшествующей так называемому пассивному состоянию фазы цикла, энергия «запасается», а точнее потенцируется в первой фазе цикла. И, следовательно, вторая фаза тоже не может считаться пассивной. Поэтому с точки зрения термодинамики употребление термина «пассивных» фаз движения быть не может.

Казалось бы в социальной сфере можно было бы оправдать употребление термина активная и пассивная (бездеятельная) личность. Но и в этом случае бездеятельная личность все равно потребляет энергию. Значит, в целом раз-

ница в терминах активный и пассивный носит количественную, временную и векторную составляющие.

Любая система, не употребляющая энергию, оказывается равновесной и мертвой. А в не живой природе характеризуется как состояние покоя, что противоречит законам диалектики и синергетики.

Остается открытым вопрос, каким же термином, термодинамически адекватным, переименовать так называемые пассивные фазы и процессы. На наш взгляд возможными заместителями термина «пассивный», но не обязательно, могли бы быть такие термины, как «вторично активные», «отсроченно активные» или «энерго-потенцированные».

**Список использованной литературы:**

1. Антонов В.Ф., Черныш А.М. и др. Биофизика. – М.: Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 2006. – 288 с.
2. Байер В. Биофизика. Введение в физический анализ свойств и функций живых систем. – М: Издательство иностранной литературы, 1962г., 431с.
3. Долгов М.А., Косарев А.В. Гидродинамический механизм сокращения и расслабления мышечной ткани и его энергетическое обеспечение. – Вестник Оренбургского гос. у-та. – 2005. – №10. – С. 14–17. ([http://vestnik.osu.ru/2005\\_10/36.pdf](http://vestnik.osu.ru/2005_10/36.pdf)).
4. Долгов М.А., Косарев А.В. Взаимодействие эластического и гидродинамического компонентов в процессе сокращения и расслабления мышечного волокна. – Вестник Оренбургского гос. у-та. – 2007. – №12. – С. 106–112. ([http://vestnik.osu.ru/2007\\_12/21.pdf](http://vestnik.osu.ru/2007_12/21.pdf)).
5. Еремин Е.Н. Основы химической термодинамики. – М.: Высш. школа, 1978. – 391 с.
6. Зотин А.И. Второе начало, негэнтропия, термодинамика линейных необратимых процессов. // Материалы семинаров по теме «Термодинамика биологических процессов». Ин-т биологии развития им. Н.К. Кольцова АН СССР. – М.: Наука, 1976. – С. 16–25.
7. Киттель Ч., Найт У., Рудерман Н. Механика. Берклиевский курс физики. Т.1. Перевод с англ. – М.: Наука, 1975. – 480 с.
8. Косарев А.В. Биодинамика, механизм и условия производства кооперативных потоков энергии в биологических структурах. – Вестник Оренбургского гос. у-та. – 2004. – №6. – С. 93–99. ([http://vestnik.osu.ru/2004\\_6/17.pdf](http://vestnik.osu.ru/2004_6/17.pdf)).
9. Косарев А.В., Долгов М.А. Фононный поток в структуре нервного импульса. – Вестник Оренбургского государственного университета. – №5(86). – 2008. – С. 115–121. ([http://vestnik.osu.ru/2008\\_5/19.pdf](http://vestnik.osu.ru/2008_5/19.pdf)).
10. Самойлов В.О. Медицинская биофизика. – Санкт-Петербург.: Изд-во «СпецЛит», 2004. – 496 с.
11. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. Т.1 и 2: Пер. с англ. / Под ред. Р. Сапера. – М.: Мир, 2002. – 890 с.

**Dolgov M.A., Kosarev A.V.****LEGITIMACY OF THE USE OF TERM "PASSIVE" TO THE ORGANIZED MATTER FROM POSITION OF THERMODYNAMICS**

On the basis of analysis of thermodynamics essence of life-form of motion of matter illegality of application of term is shown "passive" to the living organisms. In the living wild with her cyclic processes in principle there can not be motions without the expense of energy. Other business, that in an opposite phase, preceding to the so-called passive voice phase of cycle, energy "provides" oneself, and more precisely потенцируется in the first phase of cycle. And, consequently, the second phase also can not be considered passive.

Key words: passive and active processes, thermodynamics forces, gradients of parameters, phases of motion.

Сведения об авторах:

Долгов Михаил Андреевич кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей биологии Оренбургского государственного университета. 460018, Оренбург, пр-т Победы,13. Тел: (3532) 413712.

Косарев Александр Владимирович инженер-теплоэнергетик, член Оренбургской секции АН ВЭ (общественная организация). E-mail: [nikita\\_kosarev@mai.ru](mailto:nikita_kosarev@mai.ru)