

## К ПРОБЛЕМЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО АДАПТАЦИОННОГО ГОМЕОСТАЗА В МОДЕЛИ ОРГАНИЗМА ТЕПЛОКРОВНЫХ ЖИВОТНЫХ (обзор)

Е. А. Колесник<sup>1</sup>, М. А. Дерхо<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

Цель работы — обзорная теоретическая характеристика некоторых биофизических механизмов физиологической адаптации гомеостаза гомойотермного животного во взаимосвязи с условиями среды жизнедеятельности. Эрвин Шрёдингер впервые охарактеризовал негэнтропию как ведущий критерий отличия живой системы от неживой. Образно отмечалось, что биосистема «питается отрицательной энтропией», привлекая поток негэнтропии (отрицательной энтропии) на себя (обмен веществ), который она производит (анаболизм и катаболизм), и таким образом поддерживает себя на стационарном и довольно низком уровне энтропии (собственной — положительной энтропии). Известно, что производство энтропии на единицу массы в единицу времени (измеренное по обмену веществ) возрастает в течение первого периода онтогенеза, достигая максимума величины значения энтропии, и после этого начинает убывать, достигая стационарного значения. Таким образом, была установлена цикличность величин энтропии, с периодами пиковых значений и стабилизации, в процессах неонатального роста и развития организма. Соответственно, в основе гомеостаза развития организма, то есть его термодинамической характеристики реализуется некоторое «стационарное неравновесное состояние», не критичные отклонения от гомеостаза могут быть выгодны биосистеме в перспективе, в целях дальнейшего сохранения жизнедеятельности. Акцентируется, что преобладание анаболизма в начальных периодах роста и развития обусловлено негэнтропийной ролью неспецифических адаптационных реакций, отражающихся в «гомеостатической кривой» колебанием физиологических ресурсов, в том числе изменением характера динамики содержания пластических и гуморальных веществ в плазме крови организма животного. Следовательно, сама нестабильность, или термодинамическая вероятность энтропии даёт возможность внутренней среде организма приспособляться к факторам среды жизнедеятельности (как к замку подбирать нужные ключи): выживать и формировать адаптации в каждом последующем физиологическом периоде, основывающиеся на неспецифических адаптационных реакциях, заложенных в предыдущем физиологическом периоде, то есть реализовывать адаптационный гомеостаз в онтогенезе.

**Ключевые слова:** термодинамика биосистемы, энтропия и негэнтропия, регуляция и адаптация, адаптационный гомеостаз, куры.

### Введение

В поиске решения задач биологии развития бройлерные куры *Gallus gallus* (L.) представляют интерес как организмы с генетически направленным ускоренным темпом роста и развития [33; 40; 47; 49].

Животные как бы концентрируют в достаточно дискретных периодах раннего онтогенеза те процессы, которые разворачиваются в относительно длительный промежуток времени у небройлерных организмов [33; 40].

Это позволяет в когнитивном эмпирическом плане находить необходимые точки физиологического соприкосновения, а в практическом плане иначе понимать возможную эффективность или неэффективность той или иной схемы применения различных биологически активных веществ,

в том числе пробиотических и пребиотических препаратов.

Физиология и кибернетика, в конечном счёте, имеют обобщённые задачи в разработке алгоритмов эффективного управления биосистемами, а вследствие этого получения полезного результата [20; 22; 23; 25; 28; 36; 37; 44; 50].

Учёт базовых причин функционирования организма, его биологических особенностей во взаимосвязи с факторами среды жизнедеятельности позволяет разрабатывать эффективные, экономически значимые в долгосрочной перспективе препараты, производить качественную продукцию.

Поэтому существенное значение имеет понимание причины и следствия, понятийных аппаратов в проблемах стресса и стрессогенов для

нивелирования действия на организм стрессоров или стресс-факторов.

Известно, стресс, или стресс-реакция, как общий адаптационный синдром, направлен на мобилизацию всех ресурсов организма для устранения пагубных воздействий стрессоров (факторов стресса) [10; 16; 17; 31; 32; 46].

Общий адаптационный синдром является биологическим механизмом, обеспечивающим у животных восстановление динамического равновесия внутренней среды, соответственно, сохранения здоровья на уровне, зависящем от изначальных ресурсов животного и силы действия, качества патогенов [11; 21; 32].

Биологические и клинические критерии оценки эффективности функционирования организма основываются на метаболических и гуморально-клеточных параметрах гомеостаза, то есть сопоставление животного в состоянии «идеального», «нормированного» здоровья и наличного текущего состояния [11; 13; 19; 29; 39; 41; 43; 46]. При этом общебиологические, биофизические механизмы активности организма в неразрывной естественной взаимосвязи с факторами среды жизнедеятельности остаются весьма мало освящены [28; 42; 44].

Изучались морфологические и биохимические проявления адаптационных процессов организма животных к самым различным условиям, однако имеются только единичные работы по исследованию собственно оснований физиологических приспособлений [12; 25; 34; 43; 46].

Только в последние годы разрабатываются алгоритмы количественной оценки энтропии физиологических процессов, позволяющие прогнозировать развитие биосистемы и, как следствие, получать инструментарий для некоторого управления витальными функциями биосистем [4; 19; 28; 29; 35; 41; 50].

Ранее К. С. Тринчером [30] и А. И. Быховским (А. I. Bykhovsky) [34] были применены математические выражения первого и второго начал термодинамики для количественного расчёта меры энтропии в обмене веществ и процессах адаптации внутренней среды организма животных.

Показана возможность применения биофизических принципов в качестве основы для моделирования гомеостатических процессов в метаболизме и адаптогенезе организма животных и человека [20, с. 73–78; 23; 25, с. 154–165].

Был охарактеризован энергетический гомеостаз у цыплят [49] как нейроэндокринологически регу-

лируемый баланс между потребляемой энергией корма и расходами энергии на процессы жизнедеятельности, обеспечивающий сохранение здоровья птицы и адаптирование её к различным факторам окружающей среды.

На основе обобщения имеющихся литературных данных и собственных результатов изучения физиологии адаптогенеза модельного организма кур-бройлеров в неонатальном онтогенезе к факторам промышленной окружающей среды [15–18] представим некоторую характеристику биофизических механизмов поддержания, восстановления и приспособления внутренней среды организма теплокровного животного в условиях среды жизнедеятельности.

В связи с этим целью работы явилась обзорная теоретическая характеристика некоторых биофизических механизмов физиологической адаптации гомеостаза гомойотермного животного во взаимосвязи с условиями среды жизнедеятельности.

Энтропия (от греч. *ἐντροπία* — «превращение»), или преобразование во времени — базовый биофизический параметр энергетического и материального состояния косных и биокосных объектов биосферы, характеризует глобальное изменение объектов от зарождения до смерти [24; 35]. Преобразование энергии и материи происходит в основе существования как абиотических систем, так и биотических систем или организмов [27; 29; 35; 45].

Формы энтропии — положительная и отрицательная (неэнтропия) — имеют основополагающее значение для жизни, эволюции, болезней, поддержания здоровья, биологических функций [25; 41; 50].

Авторы [41; 50] отмечают: вероятностная характеристика энтропии и определяет мутации в геноме, а соответственно, и эволюционные процессы; болезни как дисбаланс также являются выражением положительной (собственно энтропии) энтропии [41].

Так, жизнедеятельность организмов с совокупной позицией биофизики и физиологии обеспечивается сохранением массы и энергии в неразрывной причинно-следственной взаимосвязи с условиями окружающей среды, средой существования [12; 13; 22; 27; 41; 50].

Биологические системы — организмы, по И. Пригожину «условно изолированные системы», в связи с этим всецело подчиняются началам термодинамики, в том числе первому и второму законам термодинамики [9; 22; 26].

Собственно условную термодинамическую изоляцию, или физиологическую условную изоляцию в организме представляет гомеостаз, благодаря которому живой организм выделяет в окружающую среду больше энтропии, чем её (энтропию) потребляет — получает из окружающей среды и, следовательно, таким образом способен к сохранению, поддержанию своей жизнедеятельности [13; 22; 23; 25, с. 144–187; 44; 46, р. 19–25].

Erwin Schrödinger впервые охарактеризовал негэнтропию как ведущий критерий отличия живой системы от неживой (1944) [from: 41].

Образно выражаясь, постулируется, что биосистема «питается отрицательной энтропией», привлекая поток негэнтропии на себя (обмен веществ), который она производит (анаболизм и катаболизм), и таким образом поддерживает себя на стационарном и довольно низком уровне энтропии (собственной — положительной энтропии) [41].

В. Н. Новосельцев отмечал: «Жизнедеятельность биосистемы связана, с одной стороны, с необходимостью обеспечить энтропийный баланс в системе, т. е. поступление необходимых системе веществ и энергии в темпе, равном темпу их расходования, а с другой — с необходимостью обеспечить постоянство внутренних условий в системе» [23, с. 49–50].

Можно сказать, что в основе гомеостаза организма, его термодинамической характеристики реализуется некоторое «стационарное неравновесное состояние» [22; 23; 26; 41; 44], которое по представлениям Э. Бауэра основывается на принципе «устойчивого неравновесия» [3].

Термодинамическое «динамическое равновесие» в соответствии с принципом Ле-Шателье — Брауна свойственно объектам абиотической природы, при этом для биосистемы и собственно её внутренней среды характерно устойчивое регулируемое неравновесие с окружающей средой [2; 3; 11–13].

Согласно автору, активность живых систем направлена на преодоление «равновесия» с факторами окружающей среды [3, с. 26–35].

Э. Бауэр отмечал: «Живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счёт своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях» [3, с. 32]. То есть «регулирующая деятельность» по Э. Бауэру — это активность биосистемы, направленная на перманентное преодоление термодинамического равновесия с экзотической средой, то есть средой жизнедеятельности макроорганизма [3, с. 32].

У истоков представлений о гомеостазе К. Бернар в учении о внутренней среде характеризовал автономную регулирующую деятельность как адаптацию, или приспособленность организма к наличным факторам жизнедеятельности [по: 23, с. 51; 50].

Так, отмечается, что неспецифические адаптационные реакции организма (НАРО) составляют функциональную систему регуляции гомеостаза [8, с. 164, 176].

В свою очередь, «костяк» или структурно-функциональный каркас НАРО реализуется от молекулярного до организменного уровня.

В частности, известны аллостерическая авторегуляция продуктами ферментативного синтеза активности самих энзимов, других метаболитов [2, с. 44, 45, с. 73–76] и принцип обратных отрицательных и положительных связей в нейрогуморальной регуляции, то есть связующее звено всех функциональных систем в едином живущем организме.

П. К. Анохин отмечал: «стабилизация на основе принципов саморегулирования является самой первичной и самой решающей чертой жизненного процесса, и именно она обеспечила поступательное развитие структур в предбиологическом периоде» [2, с. 70]. Автор подчёркивал: «появление устойчивых систем с чертами саморегуляции стало возможным только потому, что возник первый результат этой саморегуляции в виде самой устойчивости, способной к сопротивлению против внешних воздействий» [2, с. 76].

При этом П. К. Анохин констатировал: «всякая функциональная система, механическая или живая, созданная или развивающаяся на получение полезного эффекта, непременно имеет циклический характер и не может существовать, если не получает обратной сигнализации о степени полезности произведённого эффекта» [2, с. 107].

***Каким образом организм осуществляет данную регуляцию, являющуюся двигателем функциональных звеньев механизма гомеостаза, в чём её глубинные причины и возможности?***

В основе характеристики общей модели гомеостаза физический и биофизический принцип Ле-Шателье — Брауна, У. Кеннон постулировал: «В открытой системе, такой как наши организмы, состоящие из нестабильного материала и подверженные непрерывному воздействию возмущений, само постоянство служит доказательством существования агентов, действующих или готовых к действию, чтобы поддержать это постоянство. Если состояние остаётся устойчивым, то это происходит потому, что любая тенденция к его

изменению автоматически вызывает увеличение эффективности фактора или факторов, противодействующих этому изменению» [23, с. 43].

Разумеется, организм, как единое целое, всё же состоит из систем органов и тканей, существующих за счёт обмена веществ. Фактически агентами гомеостаза, отмечаемыми У. Кенноном, являются компоненты обмена веществ, гуморальные и клеточные элементы соединительной ткани — крови [6; 7; 14; 25, с. 144–187; 27; 32; 38; 41; 44; 45; 50].

В. Н. Новосельцев подчёркивает: «В любой биосистеме существуют интегрирующие механизмы, поддерживающие её целостность, обеспечивающие обмен веществ (т. е. необходимые для существования темпы химических реакций) и постоянство структуры самой биосистемы и её генетического материала» [23, с. 49].

Однако некоторые не критичные отклонения от гомеостаза могут быть выгодны биосистеме в перспективе, в целях дальнейшего сохранения жизнедеятельности [19; 23, с. 49–50; 29; 42].

Так, Л. Х. Гаркави и Е. Б. Квакина характеризуют основную роль филогенетически сложившихся и взаимно обусловливаемых колебательных, в том числе циклических процессов метаболизма, формированием и поддержанием НАРО [8].

Авторы подчёркивают: «зависимость характера адаптационной реакции от интенсивности (силы, дозы) действующего фактора носит сложный нелинейный, периодический (циклический) характер [8; 29; 42]. По мере увеличения (или уменьшения) величины действующего фактора основные неспецифические адаптационные реакции организма периодически повторяются» [8, с. 167].

Таким образом, акцентируется негэнтропийная (отрицательной энтропии) роль (функция) НАРО в преобладании процессов анаболизма в ходе роста и развития организма [8, с. 168; 16; 17; 35; 41]. И обратный процесс у стареющего организма [8, с. 168].

Иначе говоря, в данной ситуации организм при возникновении внешних неблагоприятных факторов или генетически запрограммированных физиологических периодов с существенно повышенными энергетическими и пластическими тратами реализует филогенетически сформированные механизмы экономии ресурсов [11; 20, с. 73–78; 23; 42], то есть происходит физиологическое приспособление внутренней среды организма к наличным факторам в конкретный временной период жизнедеятельности. При этом сформированное и реализуемое онтогенетическое приспособление

таким образом обеспечивает больше функциональных ресурсов для поддержания динамического равновесия внутренней среды на последующих этапах развития биосистемы [2; 15; 20, с. 78–81; 25, с. 144–187; 41; 50].

Следовательно, реализуется генетически обеспеченный адаптационный гомеостаз [8; 16–18; 29; 41; 42; 50] (рисунок).

Данные проявления отражаются в «гомеостатической кривой» [23, с. 45–67] или в так называемых системных нелинейных флуктуирующих структурах (осцилляторов) [8; 20, с. 88–89; 42; 48] в концепции теории гомеокинеза [8; 19; 20, с. 88–89; 29; 36; 37; 39; 42; 43] колебанием физиологических ресурсов, в том числе изменением характера динамики содержания пластических и гуморальных веществ в плазме крови организма животного. Отражаются в «плато» или «пиковыми» изменениями концентрации ресурсов, «регуляцией» — то есть сохранением или восстановлением относительной стабильности концентрации веществ в метаболизме организма и «конформацией» — существенных подвижек в содержании веществ в ходе совокупного обмена веществ, иначе говоря, пиковыми значениями в гомеостатических кривых динамики веществ, гуморальных и клеточных компонентов крови в процессах роста и развития [15–18; 20, с. 78–89; 23, с. 47–50; Проссер Л., Браун Ф., 1967 из: 23; 42] (рисунок).

В целом данные регуляторные приспособительные реакции образуют собственную систему восстановления гомеостаза, или гомеорез (гомеорезис) [21; 23, с. 67; 50].

Гомеорезис представляет собой систему самообеспечения «гомеостаза развития», его можно назвать способностью организма поддерживать онтогенетические признаки в обширном диапазоне факторов среды, то есть сохранять свой фенотип [21; 23, с. 67] (рисунок).

Так, ранее в модели бройлерных кур, жизнедеятельность которых проходила в относительно искусственных факторах среды, были установлены и охарактеризованы некоторые неспецифические адаптационные реакции организма в неонатальном (раннем постнатальном) онтогенезе [15–18].

Регистрировалась математически достоверная (по результатам *t*-критерия, корреляционного, многомерного дисперсионного, кластерного, факторного анализов) взаимосвязь существенной цикличности колебания (гомеостатические кривые) совокупности клеточных и гуморальных компонентов в крови (гормональные, белковые и липидные

элементы), в том числе иммунных лизосомальных катионных белков полиморфноядерных гранулоцитов [18] с выживаемостью (сохранностью) и приростом массы тела птицы [15–17].

В результате по совокупности работ было показано, что в основании гомеостаза, являющегося акцептором результата работы индуктивных функциональных систем организма, проистекают циклические морфофункциональные колебания

с метаболитными и гуморально-клеточными системообразующими элементами внутренней среды. Они выражаются на организменном уровне критическими стадиями в переходных этапах развития в виде триггерных сигналов к приспособительным процессам в интегральном цикле адаптационного гомеостазиса, при перманентном влиянии экзогенных и эндогенных факторов среды [1; 2; 8; 11; 12; 15–18; 41; 50] (рисунок).

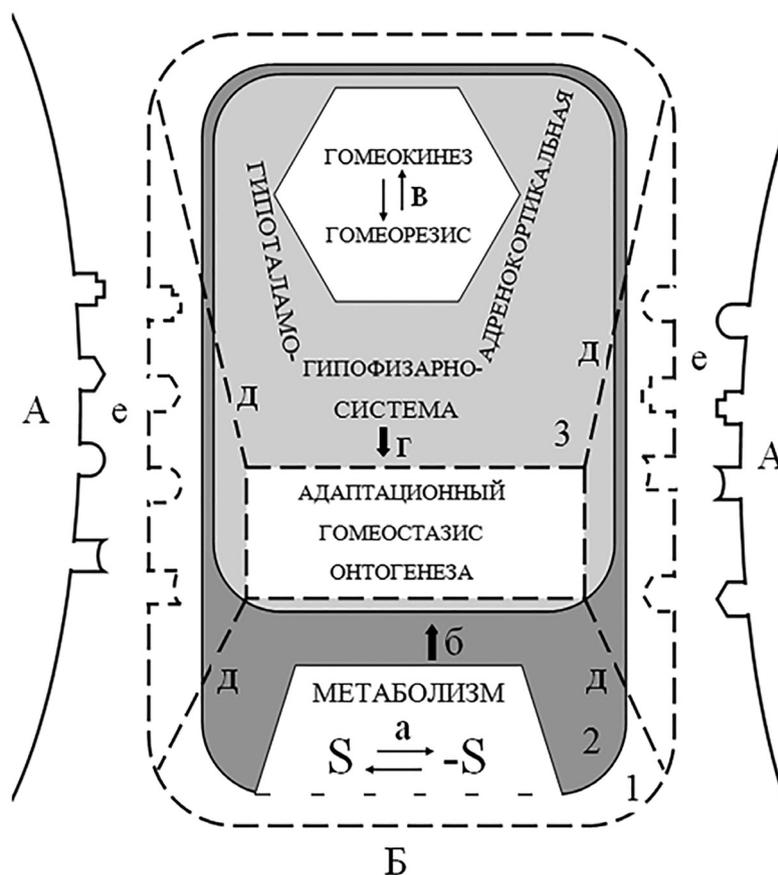


Схема иерархической структуры системы адаптационного гомеостаза в онтогенезе животного:

А — окружающая среда; Б — организм как биосистема.

Уровни иерархии структуры адаптационного гомеостаза: 1 — интегральный системный и организменный уровень (показан штриховой линией по периметру); 2 — биофизический — биоэнергетический уровень (тёмный участок рисунка со светлым блоком метаболизма, показанным трапецией); 3 — физиологический уровень (затемнённая часть схемы, включающая блок гомеокинеза и гомеорезиса в виде светлого шестигранника с нейроэндокринной гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной системой (ГГАКС)). Малыми буквами обозначены процессы внутриорганизменные и взаимодействия биосистемы с средой жизнедеятельности: а — метаболизм, выражающийся в динамическом соотношении энтропии (S) и неэнтропии (-S) в ходе роста и развития организма; б — совокупность обменных процессов, обеспечивающих энергией и пластическим материалом весь пул физиологических реакций в ходе неонатального онтогенеза; в — совокупность процессов гомеокинеза и гомеорезиса, находящихся в основе формирования и реализации адаптационного гомеостаза в ходе роста и развития животного; г — ведущая регуляторная роль ГГАКС (или оси) в развитии и сохранении адаптационного гомеостаза в неонатальном онтогенезе; д — штриховыми линиями акцентированы морфофизиологические взаимосвязи всех трёх выше отмеченных иерархических уровней в функциональной системе адаптационного гомеостаза процессов роста и развития организма животного; е — совокупные неспецифические адаптационные реакции организма (Б) в виде различных фигур из штриховой линии к факторам среды жизнедеятельности (А), обозначенным фигурами сплошной линией. Пояснения см. в тексте.

**Каковы причинно-следственные механизмы регуляции в функциональной системе адапционного гомеостаза?**

В некотором роде ключевым значением в понимании этого необходимо отметить положение, приводимое Э. Бауэром. Собственные изменения системы являются источником энергии для поддержания неравновесного состояния организма с окружающей средой [3, с. 87].

Фактически это вышеобозначенный Э. Бауэром ключевой тезис о том, что разность потенциалов характеризуется двойственной динамикой обмена веществ [3]. Иначе говоря, диссипативностью (флуктуирующей двойственностью) как основополагающим свойством живых организмов, заключающимся в неразрывной функциональной важности как процессов анаболизма, так и катаболизма, которые в совокупности и обеспечивают работу общего обмена веществ [3; 22; 46, р. 21–25].

Эволюционное развитие степени диссипативности в гомеостазе и обмене веществ происходило и происходит в ходе филогенетического усложнения организации животных под воздействием факторов окружающей среды, то есть при формировании филогенетических и онтогенетических адаптаций [46, р. 21–25].

Erwin Schrödinger (1967) [from: 44] в определении понятия «жизнь» отмечал: «“жизнь” метаболизирует энергию из окружающей среды для поддержания гомеостаза вдали от термодинамического равновесия» [Schrödinger E. (1967), from: 44].

Таким образом, приспособительные механизмы гомеостаза основываются прежде всего на первом законе термодинамики, а именно на сохранении энергии [22; 24; 28; 41; 44; 45].

Первое начало термодинамики обуславливает взаимосвязь изменения внутренней энергии биосистемы  $\Delta U$ , её теплоту  $\Delta Q$ , отданную системе, а также работу  $\Delta A$ , произведённую системой:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A. \quad (1)$$

Так, животный организм осуществляет свою жизнедеятельность в основном за счёт энергии макроэргических связей АТФ, АДФ и АМФ, обеспечивающих энергетический гомеостаз, которые в свою очередь синтезируются при окислительном фосфорилировании продуктов обмена, получаемых животным в процессе питания [20, с. 75–76; 23, с. 52, 177, 178, 182, 183, с. 186–194; 25, с. 144–154; 27; 35; 39; 45; 46, р. 19, 20; 49] (рисунок).

В ходе эволюционного развития животные, от пойкилотермных (рыбы, амфибии, рептилии)

к гомойотермным (птицы и млекопитающие), приобрели возможность более эффективно преобразовывать энергию, получаемую из пищи, сохраняя постоянную температуру тела. В свою очередь, гомойотермность обеспечивает более эффективную работу всех внутренних органов, опорно-двигательного аппарата, в том числе скелетной, а также сердечной и гладкой мускулатуры [5; 34; 46, р. 19–25]. Гомойотермия, а следовательно, и большая скорость и эффективность всех реакций филогенетически обеспечила и стабильность функционирования нервной системы, развития психики у птиц и млекопитающих.

Ранее автором [34] эмпирически были применены первое и второе начала термодинамики для модельных расчётов и прогнозирования развития энергетического обмена у животных в процессе их адаптации к факторам среды жизнедеятельности.

А. I. Vukhovsky [34] отмечал, что чем выше организация животного с эволюционной точки зрения, тем сложнее его структура; и чем меньше его удельная энтропия, тем выше должна быть надёжность процессов, происходящих в организме и, следовательно, его энергетических затрат (рисунок).

Автор [34] подчёркивал сам факт, что гомойотермные животные появились после пойкилотермных в процессе эволюции, связан с тенденцией к повышению надёжности функционирования организма, то есть функционального гомеостаза [34, р. 367, 368].

Однако физически, согласно первому началу термодинамики, вся энергия в биосистеме в конечном итоге превращается в теплоту при совершении работы организмом (выполнения всей совокупности витальных функций) [27; 41; 44; 45; 46, р. 19–25].

J. S. Torday [50] акцентировал: собственно сам гомеостаз организма, как функциональный механизм, эволюционно развивался вследствие уменьшения энтропии в самой структуре организации биологической системы, то есть в ходе филогенетического усложнения организмов, соответственно, формирования устойчивых (гомеостатических) механизмов [50] преодоления неизбежного роста энтропии, обусловленного физическими началами (физико-химическими процессами как в самом организме, так и в окружающей среде) [50] (рисунок).

С. Faisy отмечает, что с термодинамической точки зрения гомеостаз, как степень организации организма, является следствием накопления от-

рицательной энтропии, то есть совокупности анаболических биохимических реакций в процессе жизнедеятельности [Faisy C. from: 46, p. 19, 20].

Автор подчёркивает, что совокупный уровень негэнтропии в организме служит критерием оценки динамического баланса между биосистемой и её окружающей средой [Faisy C. from: 46, p. 20] (рисунок).

Е. Schrödinger (1967) постулировал, что первичная функция метаболических процессов жизни заключается в том, чтобы избежать распада, то есть путём теплового равновесия, посредством включения отрицательной энтропии из окружающей среды в организм и вывода из него собственную энтропию во внешнюю среду [Schrödinger E. (1967) from: 44] (рисунок).

Соответственно, эффективность работы, или, фактически, успешность приспособления внутренней среды организма к условиям среды жизнедеятельности основывается на принципах второго начала термодинамики, характеризующего изменение энтропии системы  $dS$ , определяемое отношением теплоты  $dQ$  (как непосредственно меняющегося параметра в биосистеме) к абсолютной температуре  $T$  системы, при которой этот процесс происходит [23, с. 37, 38; 27; 28; 41]:

$$dS = dQ / T. \quad (2)$$

Из второго принципа термодинамики следует, что в изолированной системе, или условно изолированной биосистеме [9; 22; 23; 46, p. 19–25] протекают только процессы, приводящие к возрастанию энтропии — перманентному процессу в онтогенезе, физиологически запускаемому с началом старения организма.

При этом в механизмах гомеостаза внутренней среды величина энтропии поддерживается на относительно мало (или минимально) изменяемом уровне [3; 23], что собственно и обеспечивает, отражает реализацию принципа устойчивого неравновесия биологических систем с параметрами факторов окружающей среды, то есть отличает функционирующий живой организм от абиотических объектов косной природы (рисунок).

Стационарное состояние устойчивого неравновесия внутренней среды организма в процессах роста и развития с параметрами факторов окружающей среды характеризуется тем, что величина энтропии, производимой самой биосистемой в реакциях катаболизма, относительно уравнивается негэнтропией в реакциях анаболизма, а также выводом энтропии с продуктами жизне-

деятельности, тепловой энергии из биологической системы в окружающую среду (рисунок).

Это можно представить следующим образом:

$$dS = 0 \text{ (или } \Delta S = \min) \quad (3)$$

и соответственно

$$dS_i = -dS_e, \quad (4)$$

где  $dS_i$  — производство энтропии, отражаемое в катаболизме в обмене веществ во внутренней среде и процессами старения организма в онтогенезе;  $-dS_e$  — негэнтропия (отрицательная энтропия), характеризующая выражение анаболических процессов внутренней среды, а также роста и развития организма в онтогенезе [3; 8; 12; 23; 25, с. 154; 35; 41; 44; Faisy C. from: 46, p. 19, 20; 50] (рисунок).

Необходимо акцентировать следующий момент. Было установлено, что производство энтропии на единицу массы в единицу времени (измеренное по обмену веществ) возрастает в течение первого периода онтогенеза, достигая максимума величины значения энтропии, и после этого начинает убывать, достигая стационарного значения. Отмечается, что данный термодинамический континуум онтогенеза соответствует периоду достижения минимальной диссипации [9, с. 261].

Таким образом, была установлена цикличность величин энтропии, с периодами пиковых значений и стабилизации, в процессах неонатального роста и развития организма [9].

При этом закономерным и очевидным является вектор постепенного смещения соотношения отрицательной энтропии (негэнтропии) в сторону возрастания энтропии.

В конечном счёте состояние биосистемы стремится из более организованного и, следовательно, менее статистически вероятного негэнтропийного континуума к распаду (процесс онтогенетического старения организма), то есть более статистически вероятному энтропийному континууму [8; 41; 50].

Так, энтропия системы выражает показатель упорядоченности или беспорядка структурно-функциональных энергетических и пластических, или — на языке кибернетики — интегральных информационных звеньев биосистемы. Согласно принципу Больцмана, энтропия системы ( $S$ ) в данном состоянии пропорциональна термодинамической вероятности ( $W$ ) этого состояния:

$$S = k \times \ln W, \quad (5)$$

где  $k$  — константа Больцмана [9; 23, с. 38; 24; 25, с. 154; 27; 41; 44].

Термодинамическая вероятность — основополагающая характеристика адаптационного гомеостаза и его реакций — является числом микросостояний системы, посредством которых реализуется данное макросостояние системы, иначе говоря, целостного организма.

Чем больше возможно микросостояний (вариантов расположения частиц), тем более неупорядочена система и тем больше величины  $W$  и  $S$ .

Данная кибернетическая роль термодинамической вероятности энтропии биосистемы имеет существенный физиологический смысл не только в качестве биофизического механизма процесса естественного старения. Прежде всего организм благодаря реализации этой сущности, второго начала термодинамики, получает возможности реализации возрастающего вариационного числа (до физиологического предела, генетической нормы реакции) биохимических онтогенетических адаптационных реакций, составляющих по сути основу регуляции внутренней среды организма в ходе сохранения устойчивого неравновесия с внешней средой [2; 8; 23; 25, с. 144–187; 26] (рисунок). Иначе говоря, временного преодоления неизбежного стремления роста энтропии и, как следствие, синильных процессов [8; 12; 22; 35; 41; 44].

Обобщим: первое начало термодинамики в итоге определяет рост и развитие организма, выражаемые в комплексе физиологических функций через теплоту ( $\Delta Q$ ) — как показатель реализации работы ( $\Delta A$ ), то есть витальных функций систем органов и целостного организма в онтогенезе, соответственно, обеспечиваемой внутренней энергией ( $\Delta U$ ), или, иначе, совокупностью энергетических процессов.

При этом второе начало термодинамики характеризует и обуславливает нестабильность теплоты, отражаемую энтропией ( $\Delta S$ ) как основное качество живой системы [3; 4; 22; 24; 27; 28; 44; 45] (рисунок).

Следовательно, сама нестабильность, или, иначе, термодинамическая вероятность ( $W$ ) даёт возможности внутренней среде организма приспособляться к факторам среды жизнедеятельности (рисунок): выживать и формировать адаптации в каждом последующем физиологическом периоде, основывающиеся на неспецифических адаптационных реакциях, заложенных в предыдущем физиологическом периоде, то есть реализовывать адаптационный гомеостаз в онтогенезе [3; 8; 12; 15–18; 41; 44; 50] (рисунок).

Некоторое общее выражение реализации первого и второго начала термодинамики в биосистеме

или совокупность функций в организме характеризует так называемый термодинамический потенциал по Гиббсу [27; 28; 45, р. 32–39]:

$$G = U + PV - ST, \quad (6)$$

где при относительном постоянстве температуры ( $T$ ) и давления ( $P$ ) вариационными величинами являются внутренняя энергия ( $U$ ) (вся совокупная энергия), объём ( $V$ ), или, иначе, процесс роста организма и баланс ( $\Delta S$ ) негэнтропии (отрицательной энтропии) с энтропией биосистемы ( $S$ ) [27; 28; 41; 45, р. 32–39].

Данный баланс ( $\Delta S$ ) в формуле свободной энергии Гиббса является обобщающим показателем термодинамического механизма гомеостаза в онтогенетических процессах развития животного в перманентно воздействующих факторах среды жизнедеятельности [2; 8; 12; 22; 27; 34; 45, р. 32–39].

### Заключение

Хотелось бы отметить положения, приводимые П. К. Анохиным в обобщающей кибернетической характеристике физиологической функциональной системы.

П. К. Анохин писал: «Система самоуправления — это не просто взаимодействие, это интегрирование активности всех компонентов в одном единственном направлении — на получение необходимого в данный момент и специфического для системы приспособительного результата» [1, с. 325].

Автор акцентировал: «Именно полезный результат составляет тот операциональный фактор, который способствует тому, что система в случае недостаточности данного результата может полностью реорганизовать расположение своих частей в пространстве и во времени, что и обеспечивает в конце концов необходимый в данной ситуации приспособительный результат организма» [1, с. 326] (рисунок).

П. К. Анохин констатировал: «наличие приспособительного результата во всякой саморегулирующейся и самоорганизующейся системе радикально ориентирует все потоки информации в системе на этот результат» [2, с. 85] (рисунок).

Подытожим. С биофизической и физиологической позиции, жизнедеятельность теплокровного животного — это совокупность циклических приспособительных и необратимых, связанных с синильными процессами явлений. Иначе говоря, совокупность превращений (энтропийно-негэнтропийных процессов) состояния внутренней среды,

обеспечивающих стационарное энергетическое неравновесие организма со средовыми факторами.

При этом, вероятно, сами энергетические и пластические изменения внутренней среды в течение

каждого физиологического периода являются пусковыми агентами приспособления гомеостаза в последующие периоды онтогенеза животного.

### Список литературы

1. Анохин, П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин. — М. : Медицина, 1975. — 448 с.
2. Анохин, П. К. Кибернетика функциональных систем : избранные труды / П. К. Анохин ; под ред. К. В. Судакова ; сост. В. А. Макаров. — М. : Медицина, 1998. — 400 с.
3. Бауэр, Э. С. Теоретическая биология / Э. С. Бауэр. — М. ; Л. : Изд-во Всесоюз. ин-та эксперимент. медицины, 1935. — 206 с.
4. Брильков, А. В. На пути к физическим принципам биологической эволюции / А. В. Брильков, Ю. Ю. Логинов, И. А. Логинов, Е. В. Брилькова, О. А. Золотов, В. В. Дубич // Успехи соврем. естествознания. — 2012. — № 2. — С. 53–59.
5. Гаврилов, В. М. Термодинамика эндотермных животных и развитие эндотермии в эволюции птиц / В. М. Гаврилов // Пятнадцатое Всероссийское совещание с международным участием и восьмая Школа по эволюционной физиологии, посвящённые памяти академика Л. А. Орбели и 60-летию Института эволюционной физиологии и биохимии имени И. М. Сеченова РАН : сб. материалов. — СПб. : ВВМ, 2016. — С. 43.
6. Галочкин, В. А. Межсистемные связи иммунитета, нейроэндокринной регуляции и факторов питания в свете концепции общего иммунофизиологического контроля резистентности / В. А. Галочкин, В. П. Галочкина, А. В. Агафонова, Г. Г. Черепанов // Проблемы биологии продуктивных животных. — 2016. — № 3. — С. 24–46.
7. Галочкин, В. А. Взаимосвязь нервной, иммунной, эндокринной систем и факторов питания в регуляции резистентности и продуктивности животных (обзор) / В. А. Галочкин, К. С. Остренко, В. П. Галочкина, Л. М. Фёдорова // Сельскохозяйств. биология. — 2018. — Т. 53, № 4. — С. 673–686. — doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus; doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673eng.
8. Гаркави, Л. Х. Роль синхронизации и резонансных явлений в управлении гомеостазом организма / Л. Х. Гаркави, Е. Б. Квакина // Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем: [По материалам семинаров / Ю. М. Горский, В. И. Астафьев, В. П. Казначеев и др.] ; отв. ред. Ю. М. Горский ; АН СССР, Всесоюзный семинар «Гомеостатика живых и технических систем». — Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1990. — С. 163–179.
9. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин ; пер. с англ. Н. В. Вдовиченко, В. А. Онищука / под ред. Ю. А. Чизмадзева. — М. : Мир, 1973. — 280 с.
10. Горизонтов, П. Д. Гомеостаз / П. Д. Горизонтов. — М. : Медицина, 1981. — 576 с.
11. Горский, Ю. М. Гомеостатика: модели, свойства, патологии / Ю. М. Горский // Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем: [По материалам семинаров / Ю. М. Горский, В. И. Астафьев, В. П. Казначеев и др.] ; отв. ред. Ю. М. Горский ; АН СССР, Всесоюзный семинар «Гомеостатика живых и технических систем». — Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1990. — С. 20–67.
12. Дильман, В. М. Большие биологические часы. Введение в интегральную медицину / В. М. Дильман. — М. : Знание, 1986. — 256 с.
13. Казначеев, В. П. Проблемы гомеостаза в свете теории общей патологии и адаптации человека / В. П. Казначеев // Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем: [По материалам семинаров / Ю. М. Горский, В. И. Астафьев, В. П. Казначеев и др.] ; отв. ред. Ю. М. Горский ; АН СССР, Всесоюзный семинар «Гомеостатика живых и технических систем». — Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1990. — С. 9–19.
14. Козлова, С. В. Морфофункциональное состояние надпочечников цыплят-бройлеров при различных способах содержания / С. В. Козлова, К. А. Сидорова, Н. А. Татарникова, Н. А. Череменина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 134. — С. 1106–1116. — doi: 10.21515/1990-4665-134-090.

15. Колесник, Е. А. Алгоритм анализа системообразующих элементов факторной модели гуморальной регуляции метаболизма бройлерных кур / Е. А. Колесник // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. — 2017. — № 1. — С. 69–75.
16. Колесник, Е. А. Об участии холестерина, прогестерона, кортизола и липопротеинов в возрастных изменениях обмена веществ у цыплят-бройлеров промышленного кросса / Е. А. Колесник, М. А. Дерхо // Сельскохозяйственная биология. — 2017. — Т. 52, № 4. — С. 749–756. — doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.749rus; doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.749eng.
17. Колесник, Е. А. Об участии гипофизарно-адренкортикальных гормонов в регуляции клеточного пула крови у цыплят-бройлеров / Е. А. Колесник, М. А. Дерхо // Проблемы биологии продуктивных животных. — 2018. — № 1. — С. 64–74. — doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.1.64-74.
18. Колесник, Е. А. Иммунный катионный белок нейтрофилов как фактор неспецифической резистентности и физиологической основы для разработки пробиотиков / Е. А. Колесник, М. А. Дерхо // Микробные технологии в птицеводстве и животноводстве : сб. тез. Всероссийской научно-практической конференции / Институт Фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет». — Казань : Изд-во Казанского университета, 2018. — С. 18. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/213464677/>.
19. Микаелян, К. П. Автономная нервная система и система кровообращения — гомеостаз и гомеокинез при хирургических вмешательствах на позвоночнике / К. П. Микаелян, А. Ю. Зайцев, В. А. Светлов, В. А. Гурьянов, К. В. Дубровин // Анестезиология и реаниматология. — 2012. — № 3. — С. 41–44.
20. Моделирование физиологических систем организма / В. И. Шумаков, В. Н. Новосельцев, М. П. Сахаров, Е. Ш. Штенгольд ; под ред. Б. В. Петровского. — М. : Медицина, 1971. — 352 с.
21. Моисеева, Н. И. Закономерности гомеостатической регуляции в живых системах / Н. И. Моисеева // Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем: [По материалам семинаров / Ю. М. Горский, В. И. Астафьев, В. П. Казначеев и др.]; Отв. ред. Ю. М. Горский; АН СССР, Всесоюзный семинар «Гомеостатика живых и технических систем». — Новосибирск : Наука : Сиб. отделение, 1990. — С. 123–141.
22. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин ; пер. с англ. В. Ф. Пастушенко ; под ред. Ю. А. Чизмаджева. — М. : Мир, 1979. — 512 с.
23. Новосельцев, В. Н. Теория управления и биосистемы. Анализ сохранительных свойств / В. Н. Новосельцев. — М. : Наука, 1978. — 320 с.
24. Осипов, А. И. Энтропия и её роль в науке / А. И. Осипов, А. В. Уваров // Соросовский образовательный журнал. — 2004. — Т. 8, № 1. — С. 70–79.
25. Панин, Л. Е. Детерминантные системы в физике, химии, биологии : монография / Л. Е. Панин. — Новосибирск : Сиб. университет. изд-во, 2017. — 202 с.
26. Пригожин, И. Философия нестабильности / И. Пригожин // Вопросы философии. — 1991. — № 6. — С. 46–57.
27. Рубин, А. Б. Термодинамика биологических процессов / А. Б. Рубин // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 10. — С. 77–83.
28. Саввин, В. Н. Использование подходов термодинамики при оценке состояния живой системы / В. Н. Саввин, О. Л. Короткова, Г. П. Шишкин // Вятский медицинский вестник. — 2017. — Т. 54, № 2. — С. 40–44.
29. Сараев, И. А. Новые возможности диагностики на основе анализа нелинейных свойств гомеокинеза / И. А. Сараев, В. М. Довгаль // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». — 2005. — № 2. — С. 64–74.
30. Тринчер, К. С. Биология и информация. Элементы биологической термодинамики / К. С. Тринчер. — М. : Наука, 1965. — 119 с.
31. Филаретов, А. А. Адаптация как функция гипофизарно-адренкортикальной системы / А. А. Филаретов, Т. Т. Подвигина, Л. П. Филаретова. — СПб. : Наука, 1994. — 131 с.
32. Baffy, G. Complexity and network dynamics in physiological adaptation: An integrated view / G. Baffy, J. Loscalzo // Physiology & Behavior. — 2014. — Vol. 131. — P. 49–56. — doi: 10.1016/j.physbeh.2014.04.018.

33. Butt, A. H. A Study on the Development of a Cardiac Structure of the Baby Chicken in Defferent Phases / A. H. Butt, M. Awais, M. Ahmed // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2018. — Vol. 05, no. 08. — P. 8019–8024. — <http://www.iajps.com>.
34. Bykhovsky, A. I. The Negentropy Principle of Information and Some Problems in Bioenergetics / A. I. Bykhovsky // *Mathematical Biosciences*. — 1968. — Vol. 3. — P. 353–370. — doi: 10.1016/0025-5564(68)90091-6.
35. Crofts, A. R. Life, Information, Entropy, and Time: Vehicles for Semantic Inheritance / A. R. Crofts // *Complexity*. — 2007. — Vol. 13, no. 1. — P. 14–50. — doi: 10.1002/cplx.20180.
36. Der, R. Artificial life from the principle of homeokinesis / R. Der // In: 8th German Workshop on Artificial Life (GVAL-8). GVAL-8 will take place in Leipzig, 30 July (7pm) — 1 August (4pm), 2008. — Leipzig : GVAL Publ., 2008. — P. 1–12. — URL: [https://pdfs.semanticscholar.org/e86f/05ee58b2981abc0a1de43de411415cdfd2c2.pdf?\\_ga=2.6474290.1849828812.1548252073-2010135291.1548252073](https://pdfs.semanticscholar.org/e86f/05ee58b2981abc0a1de43de411415cdfd2c2.pdf?_ga=2.6474290.1849828812.1548252073-2010135291.1548252073).
37. Der, R. Homeokinesis — A new principle to back up evolution with learning / R. Der, U. Steinmetz, F. Pasemann // Mohammadian, M. (Ed.), *Computational Intelligence for Modelling, Control, and Automation, Concurrent Systems Engineering Series Vol. 55*, IOS Press, pp. 43–47. (Proceedings, CIMCA'99, Vienna, February 17–19, 1999). — Vienna: CIMCA Publ., 1999. — P. 1–7. — <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.557.9198&rep=rep1&type=pdf>.
38. Donnik, I. M. Molecular–Genetic and Immunobiochemical Markers in Assessing the Health of Agricultural Animals / I. M. Donnik, I. A. Shkuratova // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. — 2017. — Vol. 87, no. 2. — P. 139–142. — doi: 10.1134/S1019331617020095.
39. Goldstein, D. S. Evolution of concepts of stress / D. S. Goldstein, I. J. Kopin // *Stress*. — 2007. — Vol. 10 (2). — P. 109–120. — doi: 10.1080/10253890701288935.
40. Herron, L. R. A chicken bioreactor for efficient production of functional cytokines / L. R. Herron, C. Pridans, M. L. Turnbull, N. Smith, S. Lillico, A. Sherman, H. J. Gilhooley, M. Wear, D. Kurian, G. Papadakos, P. Digard, D. A. Hume, A. C. Gill, H. M. Sang // *BMC Biotechnology*. — 2018. — Vol. 18, no. (1), 82. — P. 1–12. — doi: 10.1186/s12896-018-0495-1.
41. Houck, P. D. Should negative entropy be included in the fundamental laws of biology? / P. D. Houck // *OA Biology*. — 2014. — Vol. 2, no. 1. — P. 1–7.
42. Iberall, A. S. Homeokinesis — The Organizing Principle of Complex Living Systems / A. S. Iberall, W. S. McCulloch // *International Federation of Automatic Control (IFAC) Conference on Technical and Biological Problems of Control — A Cybernetic View*, Yerevan, Armenia, September 24–28, 1968, Yerevan: IFAC. Published by Elsevier Ltd., 1968. — Vol. 2, iss. 4. — P. 39–50. — doi: 10.1016/S1474-6670(17)68837-2.
43. Kaltenbach, J. C. Endocrine Aspects of Homeostasis / J. C. Kaltenbach // *American Zoologists*. — 1988. — Vol. 28, no. 2. — P. 761–773. — <https://www.jstor.org/stable/3883302>.
44. Kane, V. Metabolic Basis of Complex Adaptive Systems. A generative theory / V. Kane // *The Computational Social Science Society of the Americas (CSSSA)*, Santa Fe, New Mexico, November 17–20, 2016. — Santa Fe, New Mexico: CSSSA Publ., 2016. — P. 1–19. — [http://computationalsocialscience.org/wp-content/uploads/2016/11/CSSSA\\_2016\\_paper\\_29.pdf](http://computationalsocialscience.org/wp-content/uploads/2016/11/CSSSA_2016_paper_29.pdf).
45. Nicholls, D. G. Bioenergetics, 3rd edition / D. G. Nicholls, S. J. Ferguson. — London — San Diego, California: Academic Press. An imprint of Elsevier Science Ltd., 2002. — 320 p. — doi: 10.1016/B978-0-12-518121-1.X5000-3.
46. Preiser, J.-C. The Stress Response of Critical Illness: Metabolic and Hormonal Aspects / J.-C. Preiser (Ed.). — Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London : Springer International Publishing Switzerland, 2016. — 245 p. — doi: 10.1007/978-3-319-27687-8.
47. Resnyk, C. W. Transcriptional analysis of abdominal fat in chickens divergently selected on bodyweight at two ages reveals novel mechanisms controlling adiposity: validating visceral adipose tissue as a dynamic endocrine and metabolic organ / C. W. Resnyk, W. Carre, X. Wang, T. E. Porter, J. Simon, E. Le Bihan-Duval, M. J. Duclos, S. E. Aggrey, L. A. Cogburn // *BMC Genomics*. — 2017. — Vol. 18, no. (1): 626. — P. 1–31. — doi: 10.1186/s12864-017-4035-5.
48. Russell, G. The human stress response / G. Russell, S. Lightman // *Nature Reviews Endocrinology*. — 2019. — V. 15. — P. 525–534. — doi: 10.1038/s41574-019-0228-0.
49. Song, Z. The endocrine control of energy homeostasis in chickens / Z. Song, N. Everaert, Y. Wang,

E. Decuypere, J. Buyse // *General and Comparative Endocrinology*. — 2013. — Vol. 190. — P. 112–117. — PMID: 23707377; doi: 10.1016/j.ygcen.2013.05.006.

50. Torday, J. S. Homeostasis as the Mechanism of Evolution / J. S. Torday // *Biology*. — 2015. — Vol. 4. — P. 573–590. — doi: 10.3390/biology4030573.

### Сведения об авторах

**Колесник Евгений Анатольевич** — кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и клинической патологии факультета фундаментальной медицины Челябинского государственного университета, Челябинск, Россия. [evgeniy251082@mail.ru](mailto:evgeniy251082@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2326-651X>

**Дерхо Марина Аркадьевна** — доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин Института ветеринарной медицины Южно-Уральского государственного аграрного университета, Троицк, Челябинской область, Россия. [derkho2010@yandex.ru](mailto:derkho2010@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

---

*Bulletin of Chelyabinsk State University.*

*Education and Healthcare. 2020. № 4 (12). P. 15–30.*

## TO THE PROBLEM OF PHYSIOLOGICAL ADAPTIVE HOMEOSTASIS IN THE MODEL OF THE ORGANISM OF WARM-BLOODED ANIMALS (a review)

***E.A. Kolesnik***

*Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia. [evgeniy251082@mail.ru](mailto:evgeniy251082@mail.ru)*

***M.A. Derkho***

*South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk Region, Russia. [derkho2010@yandex.ru](mailto:derkho2010@yandex.ru)*

The purpose of the work is a review theoretical description of some biophysical mechanisms of physiological adaptation of homeostasis of a homoiothermal animal in relation to the conditions of the environment of vital activity. Erwin Schrödinger, for the first time, described negentropy as the leading criterion for distinguishing a living system from a non-living. It was figuratively noted that the biosystem «feeds on negative entropy», attracting the flow of negentropy (negative entropy) to itself (metabolism), which it produces (anabolism and catabolism) and thus maintains itself at a stationary and rather low level of entropy (that is — positive entropy). It is known that the production of entropy per unit mass per unit of time (measured by metabolism) increases during the first period of ontogenesis, reaching a maximum value of the entropy value, and then begins to decrease, reaching a stationary value. Thus, the cyclical of the entropy values, with periods of peak values and stabilization, in the processes of neonatal growth and development of the organism was established. Accordingly, in a based of the homeostasis of development of the organism, that is, its thermodynamic characteristics, a some «stationary non-equilibrium state» is realized, uncritical deviations from homeostasis may be beneficial to the biosystem, in the long term, in the targets to of further preserve vital activity. Accentuated, the predominance of anabolism, in the initial periods of growth and development is emphasized due to the negentropic role of nonspecific adaptation reactions, reflected in the «homeostatic curve», or in the so-called systemic nonlinear fluctuating structures (oscillators) in the theory of homeokinesis, as oscillation of physiological resources. Including, by changing the nature of the dynamics of the content of plastic and humoral substances in the blood plasma of the organism of an animal. These regulatory adaptive reactions form their own system of homeostasis restoration — a homeoeresis, based on the laws of thermodynamics. The first law of thermodynamics, as a result, determines the growth and development of the organism, expressed in a complex of physiological functions through heat ( $\Delta Q$ ) — as an indicator of work realization ( $\Delta A$ ), that is, vital functions of organ systems and of the holistic organism in ontogenesis, respectively, provided by internal energy ( $\Delta U$ ) or otherwise, a summation of energy processes. At the same time, the second law of thermodynamics characterizes and determines the instability of heat — by the presented of entropy ( $\Delta S$ ), as the main quality of the living system. Consequently, the instability itself, or otherwise the thermodynamic probability of entropy ( $W$ ), allows the internal environment of the organism, noting, as an allegory, to select the necessary «keys» to the «open a lock», that is, to adapt to the factors of the environment of vital activity. Accordingly, survive and form adaptations in each subsequent physiological period, which are based on nonspecific adaptive reactions

established in the previous physiological period, that is, to realize adaptive homeostasis in ontogenesis. A conclusion was made. From the biophysical and physiological position, the vital activity of a warm-blooded animal is a combination of cyclical adaptive, and irreversible phenomena associated with senile processes. In other words, a set of transformations (entropy-negentropy processes) of the state of the internal environment, providing a stationary energy non-equilibrium of the organism with environmental factors. In this case, it is likely that the themselves energy and metabolism changes of the internal environment, during each physiological period, are trigger agents for adaptations of homeostasis in subsequent periods of the ontogeny of the animal.

**Keywords:** *thermodynamics of a biosystem, entropy and negentropy, regulation and adaptation, adaptive homeostasis, broiler chickens.*

## References

1. Anokhin P.K. *Ocherki po fiziologii funkcional'nyh sistem* (Essays on the physiology of functional systems). Moscow, Meditsina Publ., 1975. 448 p. (In Russ.).
2. Anokhin P.K. *Kibernetika funktsional'nykh sistem: Izbrannye trudy* (Cybernetics of functional systems. Selected papers). Moscow, Meditsina Publ., 1998. 400 p. (In Russ.).
3. Bauer E.S. *Teoreticheskaya biologiya* (Theoretical Biology). Moscow, Leningrad, Vsesoyuznyy Institut Eksperimental'noj Mediciny (VIEHM) Publ., 1935. 206 p. (In Russ.).
4. Bril'kov A.V., Loginov Y.Y., Loginov I.A., Bril'kova E.V., Zolotov O.A., Dubich V.V. [Towards the physical principles of the biological evolution]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2012, no. 2, pp. 53–59. (In Russ.).
5. Gavrilov V.M. [Thermodynamics of endothermic animals and the development of endothermy in the evolution of birds]. In: *Pyatnadcatoe Vserossiyskoe Soveshchanie s mezhdunarodnym uchastiem i vos'maya SHkola po ehvolucionnoj fiziologii posvyashchennye pamyati akademika L. A. Orbeli i 60-letiyu Instituta ehvolucionnoj fiziologii i biohimii imeni I. M. Sechenova Rossijskoj akademii nauk. Sbornik materialov. Sankt-Peterburg* (Fifteenth All-Russian Meeting with international participation and the eighth School on evolutionary physiology dedicated to the memory of academician L. A. Orbeli and the 60th anniversary of the Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry named after I. M. Sechenov Russian Academy of Sciences. Collection of materials. St. Petersburg). St.-Peterburg, 2016. P. 43. (In Russ.).
6. Galochkin V.A., Galochkina V.P., Agafonova A.V., Chrepanov G.G. [System interrelationships between immunity, neuroendocrine regulation and nutritional factors in the light of the concept of general immunophysiological control of resistance]. *Problemy biologii productivnykh zhivotnykh — Problems of Productive Animal Biology*, 2016, no. 3, pp. 24–46. (In Russ.).
7. Galochkin V.A., Ostrenko K.S., Galochkina V.P., Fedorova L.M. [Interrelation of nervous, immune, endocrine systems and nutritional factors in the regulation of animal resistance and productivity (review)]. *Sel'skokhosyaistvennaya biologiya — Agricultural Biology*, 2018, no. 53 (4), pp. 673–686. — doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus; doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673eng.
8. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B. [The role of synchronization and resonance phenomena in the management of the homeostasis of the organism]. In: *Gomeostatika zhivyyh, tekhnicheskikh, social'nyh i ehkologicheskikh sistem: [Po materialam seminarov]* (Homeostatics of living, technical, social and ecological systems: [Based on seminars]). Ed. by Yu.M. Gorsky; USSR Academy of Sciences, All-Union seminar “Homeostatics of living and technical systems”. Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie Publ., 1990. P. 163–179. (In Russ.).
9. Glensdorf P., Prigogine I. *Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustojchivosti i fluktuacij* (Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations). Moscow, Mir Publ., 1973. 280 p. (In Russ.).
10. Gorizontov P.D. *Gomeostaz* (Homeostasis). Moscow, Meditsina Publ., 1981. 576 p. (In Russ.).
11. Gorsky Yu.M. [Homeostatics: models, properties, pathologies]. In: *Gomeostatika zhivyyh, tekhnicheskikh, social'nyh i ehkologicheskikh sistem: [Po materialam seminarov]* (Homeostatics of living, technical, social and ecological systems: [Based on seminars]). Ed. ed. Yu. M. Gorsky; USSR Academy of Sciences, All-Union seminar “Homeostatics of living and technical systems”. Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie Publ., 1990. P. 20–67. (In Russ.).
12. Dilman V.M. *Bol'shiye biologicheskie chasy. Vvedenie v integral'nuyu medicinu* (Great biological clock. Introduction to integral medicine). Moscow, Znanie Publ., 1986. 256 p. (In Russ.).

13. Kaznacheev V.P. [Problems of homeostasis in the light of the theory of general pathology and human adaptation]. In: *Gomeostatika zhivyyh, tekhnicheskikh, social'nyh i ehkologicheskikh sistem: [Po materialam seminarov]* (Homeostatics of living, technical, social and ecological systems: [Based on seminars]). Ed. ed. Yu. M. Gorsky; USSR Academy of Sciences, All-Union seminar "Homeostatics of living and technical systems". Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie Publ., 1990. P. 9–19. (In Russ.).
14. Kozlova S.V., Sidorova C.A., Tatarnikova N.A., Cheremenina N.A. [Morpho-functional state of broiler chickens adrenal capsules under different methods of management]. *Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017, no. 134, p. 1106–1116. doi: 10.21515/1990-4665-134-090. (In Russ.).
15. Kolesnik E.A. [Algorithm of the analysis of elements constituting the factor model of the humoral regulation of the metabolism in broiler chicken]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ehkologiya — Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*, 2017, no. 1, pp. 69–75. (In Russ.).
16. Kolesnik E.A., Derkho M.A. [Involvement of cholesterol, progesterone, cortisol and lipoproteins in metabolic changes during early ontogenesis of broiler chicks of an industrial cross]. *Sel'skokhosyaistvennaya biologiya — Agricultural Biology*, 2017, no. 52 (4), pp. 749–756. doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.749rus; doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.749eng.
17. Kolesnik E.A., Derkho M.A. [About participation of pituitary-adrenocortical hormones in regulation of blood cellular pool in chicken-broilers]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh — Problems of Productive Animal Biology*, 2018, no. 1, pp. 64–74. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.1.64-74. (In Russ.).
18. Kolesnik E.A., Derkho M.A. [Immune cationic protein of neutrophils as a factor of nonspecific resistance and physiological basis for the development of probiotics]. In: *Mikrobnnye tekhnologii v pticevodstve i zhivotnovodstve: sbornik tezisov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (Microbial technologies in poultry farming and animal husbandry: a collection of abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference). Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University. Kazan, Kazanskiy universitet Publ., 2018. P. 18. doi: 10.6084/m9.figshare.13298858.v1.
19. Mikaelyan K.P., Zaytsev A.Yu., Svetlov V.A., Guryanov V.A., Dubrovin K.V. [The autonomous nervous system and circulatory system — homeostasis and homeokinesis during spine surgery]. *Anesteziologiya i Reanimatologiya — Russian journal of Anaesthesiology and Reanimatology*, 2012, no. 3, pp. 41–44. (In Russ.).
20. *Modelirovanie fiziologicheskikh sistem organizma* (Modeling the physiological systems of the organism). V.I. Shumakov, V.N. Novoseltsev, M.P. Sakharov, E.Sh. Shtengold; Ed. B. V. Petrovsky. Moscow, Meditsina Publ., 1971. 352 p. (In Russ.).
21. Moiseeva N.I. [Regularities of homeostatic regulation in living systems]. In: *Gomeostatika zhivyyh, tekhnicheskikh, social'nyh i ehkologicheskikh sistem: [Po materialam seminarov]* (Homeostatics of living, technical, social and ecological systems: [Based on seminars]). Ed. ed. Yu. M. Gorsky; USSR Academy of Sciences, All-Union seminar "Homeostatics of living and technical systems". Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie Publ., 1990. P. 123–141. (In Russ.).
22. Nikolis G., Prigogine I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemah. Ot dissipativnykh struktur k uporyadochennosti cherez fluktuatsii* (Self-organization in non-equilibrium systems. From dissipative structures to order through fluctuations). Moscow, Mir Publ., 1979. 512 p. (In Russ.).
23. Novoseltsev V.N. *Teoriya upravleniya i biosistemy. Analiz sohranitel'nykh svoystv* (Management theory and biosystems. Analysis of preservation properties). Moscow, Nauka Publ., 1978. 320 p. (In Russ.).
24. Osipov A.I., Uvarov A.V. [Entropy and its role in science]. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal — Soros Educational Journal*, 2004, no. 8(1), pp. 70–79. (In Russ.).
25. Panin L.E. *Determinantnye sistemy v fizike, himii, biologii: monografiya* (Determinant systems in physics, chemistry, biology: monograph). Novosibirsk, Sibirskoe universitetskoe izdatel'stvo Publ., 2017. 202 p. (In Russ.).
26. Prigogine I. [Philosophy of Instability]. *Voprosy Filosofii — Russian Studies in Philosophy*, 1991, no. 6, pp. 46–57. (In Russ.).
27. Rubin A.B. [Thermodynamics of biological processes]. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal — Soros Educational Journal*, 1998, no. 10, pp. 77–83. (In Russ.).

28. Savvin V.N., Korotkova O.L., Shishkin G.P. [The use of thermodynamics approaches in the living system state estimation]. *Vyatskij medicinskij vestnik — Medical Newsletter of Vyatka*, 2017, no. 54 (2), pp. 40–44. (In Russ.).
29. Saraev I.A., Dovgal' V.M. [New opportunities in diagnostics on the basis of homeokinesis non-linear characteristics analysis]. *Kurskij nauchno-prakticheskij vestnik "Chelovek i ego zdorov'e" — Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health"*, 2005, no. 2, pp. 64–74. (In Russ.).
30. Trincher K.S. *Biologiya i informaciya. Ehlementy biologicheskoy termodinamiki* (Biology and information. Elements of biological thermodynamics). Moscow, Nauka Publ., 1965. 119 p. (In Russ.).
31. Filaretov A.A., Podvigina T.T., Filaretova L.P. *Adaptatsiya kak funktsiya gipofizarno-adrenokortikal'noi sistemy* (Adaptation as a function of the pituitary-adrenocortical system). St. Petersburg, Nauka Publ., 1994. 131 p. (In Russ.).
32. Baffy G. General Adaptation Syndrome. Encyclopedia of Personality and Individual Differences. V. Zeigler-Hill, T. K. Shackelford (eds.). Dordrecht, Netherlands: Springer International Publishing AG (outside the USA), 2017. 920 p. doi: 10.1007/978-3-319-28099-8\_753-1.
33. Butt A.H., Awais M., Ahmed M. A Study on the Development of a Cardiac Structure of the Baby Chicken in Defferent Phases. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018, no. 05(08), pp. 8019–8024. Available at: <http://www.iajps.com>.
34. Bykhovsky A.I. The Negentropy Principle of Information and Some Problems in Bioenergetics. *Mathematical Biosciences*, 1968, no. 3, pp. 353–370. doi: 10.1016/0025-5564(68)90091-6.
35. Crofts A.R. Life, Information, Entropy, and Time: Vehicles for Semantic Inheritance. *Complexity*, 2007, no. 13(1), pp. 14–50. doi: 10.1002/cplx.20180.
36. Der R. Artificial life from the principle of homeokinesis. In: *8th German Workshop on Artificial Life (GWAL-8). GWAL-8 will take place in Leipzig, 30 July (7pm) — 1 August (4pm), 2008*. Leipzig: GWAL Publ., 2008, P. 1–12. Available at: [https://pdfs.semanticscholar.org/e86f/05ee58b2981abc0a1de43de411415cdfd2c2.pdf?\\_ga=2.6474290.1849828812.1548252073-2010135291.1548252073](https://pdfs.semanticscholar.org/e86f/05ee58b2981abc0a1de43de411415cdfd2c2.pdf?_ga=2.6474290.1849828812.1548252073-2010135291.1548252073).
37. Der R., Steinmetz U., Pasemann F. Homeokinesis — A new principle to back up evolution with learning. In: *Mohammadian, M. (Ed.), Computational Intelligence for Modelling, Control, and Automation, Concurrent Systems Engineering Series Vol. 55, IOS Press, pp. 43–47. (Proceedings, CIMCA'99, Vienna, February 17–19, 1999)*. Vienna: CIMCA Publ., 1999, P. 1–7. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.557.9198&rep=rep1&type=pdf>.
38. Donnik I.M., Shkuratova I.A. Molecular–Genetic and Immunobiochemical Markers in Assessing the Health of Agricultural Animals. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2017, no. 87(2), pp. 139–142. doi: 10.1134/S1019331617020095.
39. Goldstein D.S., Kopin I.J. Evolution of concepts of stress. *Stress*, 2007, Vol. 10 (2), pp. 109–120. doi: 10.1080/10253890701288935.
40. Herron L.R., Pridans C., Turnbull M.L., Smith N., Lillico S., Sherman A., Gilhooley H.J., Wear M., Kurian D., Papadacos G., Digard P., Hume D.A., Gill A.C., Sang H.M. A chicken bioreactor for efficient production of functional cytokines. *BMC Biotechnology*, 2018, no. 18(1), 82, pp. 1–12. doi: 10.1186/s12896-018-0495-1.
41. Houck P.D. Should negative entropy be included in the fundamental laws of biology? *OA Biology*, 2014, no. 2(1), pp. 1–7.
42. Iberall A.S., McCulloch W.S. Homeokinesis — The Organizing Principle of Complex Living Systems. In: *International Federation of Automatic Control (IFAC) Conference on Technical and Biological Problems of Control — A Cybernetic View, Yerevan, Armenia, September 24–28, 1968, Yerevan*. Yerevan: IFAC. Published by Elsevier Ltd., 1968, no. 2 (4), pp. 39–50. doi: 10.1016/S1474-6670(17)68837-2.
43. Kaltenbach J.C. Endocrine Aspects of Homeostasis. *American Zoologists*, 1988, no. 28 (2), pp. 761–773. Available at: <https://www.jstor.org/stable/3883302>.
44. Kane V. Metabolic Basis of Complex Adaptive Systems. A generative theory. In: *The Computational Social Science Society of the Americas (CSSSA), Santa Fe, New Mexico, November 17–20, 2016*. Santa Fe, New Mexico: CSSSA Publ., 2016. P. 1–19. Available at: [http://computationsocialscience.org/wp-content/uploads/2016/11/CSSSA\\_2016\\_paper\\_29.pdf](http://computationsocialscience.org/wp-content/uploads/2016/11/CSSSA_2016_paper_29.pdf).
45. Nicholls D.G., Ferguson S.J. *Bioenergetics*. 3<sup>rd</sup> ed. London, San Diego, California, Academic Press. An imprint of Elsevier Science Ltd., 2002. 320 p. doi: 10.1016/B978-0-12-518121-1.X5000-3.

46. Preiser J.-C. (Ed.). *The Stress Response of Critical Illness: Metabolic and Hormonal Aspects*. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 245 p. doi: 10.1007/978-3-319-27687-8.
47. Resnyk C.W., Carre W., Wang X., Porter T.E., Simon J., Le Bihan-Duval E., Duclos M.J., Aggrey S.E., Cogburn L.A. Transcriptional analysis of abdominal fat in chickens divergently selected on bodyweight at two ages reveals novel mechanisms controlling adiposity: validating visceral adipose tissue as a dynamic endocrine and metabolic organ. *BMC Genomics*, 2017, vol. 18 (1), no. 626, pp. 1–31. doi: 10.1186/s12864-017-4035-5.
48. Russell G., Lightman S. The human stress response. *Nature Reviews Endocrinology*, 2019, vol. 15, pp. 525–534. doi: 10.1038/s41574-019-0228-0.
49. Song Z., Everaert N., Wang Y., Decuypere E., Buyse J. The endocrine control of energy homeostasis in chickens. *General and Comparative Endocrinology*, 2013, no. 190, pp. 112–117. PMID: 23707377; doi: 10.1016/j.ygcen.2013.05.006.
50. Torday J.S. Homeostasis as the Mechanism of Evolution. *Biology*, 2015, no. 4, pp 573–590. doi: 10.3390/biology4030573.