

Thermodynamics of Biological Matter Circulation

G. P. Gladyshev

Sechenov Institute of chemical physics, RAS, Moscow

Закон временных иерархий позволяет выделять (вычленять, исследовать независимо) моноиерархические квазизакрываемые системы в открытых природных полииерархических системах. Этот общий закон природы и представление о квазиравновесности эволюционных биологических процессов дают возможность применять иерархическую термодинамику (макротермодинамику) систем, близких к состоянию равновесия, для исследования эволюции живой материи. Термодинамическая теория возникновения жизни, эволюции и развития живых систем и термодинамическая схема круговорота вещества в живой природе полностью соответствуют мировоззренческому предвидению Г. Галилея, Дж. К. Максвелла, Ч. Дарвина, других классиков естествознания. Упомянутые классики полагали, что общие законы природы действуют на всех уровнях организации материи. Иерархическая термодинамика основана на строгих теоретических посылах и имеет надежное экспериментальное подтверждение. Она позволяет утверждать, что биологическая эволюция является одной из составляющих эволюции материи. Жизнь возникает и развивается в разнообразных формах в различных уголках Вселенной. Отмечается, что справедливость высказанных утверждений, как полагает автор, во многом связана с неопровержимостью термодинамического метода, основанного на «математическом чуде» полных дифференциалов. Данная заметка может оказаться полезной преподавателям школ и вузов, а также студентам, обучающимся по соответствующим специальностям.

The law of temporal hierarchies makes it possible to identify quasi-closed monohierarchical systems in open polyhierarchical biological systems. It is possible to use the approaches of hierarchical quasi-equilibrium thermodynamics to establish the direction of ontogenesis and evolutionary processes. The law of temporal hierarchies helps to substantiate the idea that an overwhelming majority of supramolecular and other processes (at least structure-forming ones) in biological world take place in quasi-closed systems under regimen close to the state of equilibrium. Hence the conclusion that the relevant in vivo and in vitro processes can with equal justice be studied in terms of chemical, supramolecular, and generally speaking, hierarchical thermodynamics. The thermodynamic theory of origin, evolution and development of living systems and the thermodynamic theory of biological matter circulation boost the ideas of G. Galileo, J. K. Maxwell, Ch. Darwin and other classics, based on belief that there exist universal natural laws operating at all hierarchical levels of matter. The author considers that the statements of article are connected with the cogency of equilibrium (quasi-equilibrium) thermodynamics, which is based on the method of full differentials.

«... истинная, единственная цель науки — раскрытие не механизма, а единства».

Анри Пуанкаре

1. Общий взгляд на проблемы эволюционной термодинамики

В 70-х годах прошлого века автор настоящей работы предпринял попытку, связанную с созданием основ термодинамической теории возникновения жизни, биологической эволюции и старения живых существ. История создания теории отражена в ряде последних публикаций [1—14]. Речь шла о разработке приближенной (но, — количественной) физической теории, основанной на фундаменте классической (равновесной) термодинамики [15, 16]. Однако, на пути создания такой теории, как тогда представлялось, существовали не-

преодолимые трудности. Практически все исследователи были убеждены в том, что создать такую теорию, в принципе, не возможно. Эта, как казалось, неоспоримая уверенность, возведенная в ранг абсолютной истины, была связана со многими обстоятельствами. Основными из них были представления о невозможности, даже приближенного, приложения принципов классической термодинамики к открытым, да и к тому же, как утверждалось, далеко неравновесным биологическим системам. Полагали, что все процессы в живых системах весьма (существенно) далеки от равновесия. Однако при этом, как правило, не уточнялось, о каком равновесии идет речь!

В то время, вероятно, наиболее «модной» была теория Ильи Романовича Пригожина и его коллег [17]. В частности, эта теория утверждала, что природные открытые биологические системы далеки от равновесия. Из этого, как казалось, следовало, что они (упомянутые сис-

темы) могут формироваться и существовать только вследствие образования «живых» диссипативных структур.

И. Пригожин утверждал, что «существуют кажущиеся противоречия между биологической упорядоченностью и законами физики, в частности, вторым началом термодинамики». При этом подчеркивалось, что «данное противоречие невозможно устранить, если пытаться изучать живые системы только в рамках равновесной термодинамики».

Чтобы разрешить отмеченные «противоречия», И. Пригожин [17] как раз и предложил свою теорию диссипативных структур — структур, возникающих в условиях далеких от состояния равновесия. Как в последствии оказалось, эта теория не способствовала разрешению отмеченных «противоречий». Она только еще больше усложнила и без того непростую ситуацию. Полагаю, эта ситуация стала проявляться лишь после того, как автору данной статьи удалось показать, что если живые системы изучать в рамках иерархической квазиравновесной термодинамики, рассматривая превращения в реально существующих квазизакрытых системах, никаких упомянутых противоречий не существует. Обосновать это утверждение удалось только после открытия закона временных иерархий. Все противоречия, как я полагаю, «испарились»!

Ради объективности, следует помнить, что кинетическая теория И. Пригожина может качественно описывать диссипативные структуры, действительно существующие в системах далеких от состояния равновесия. Однако, в связи с отсутствием полного дифференциала у энтропии И. Пригожина — кинетической, не вычисляемой, функции, «энтропийная теория» этого известного исследователя пока не имеет обоснованного практического применения в биологии. Она используется, как правило, для качественного обоснования самого, визуально наблюдаемого, факта появления диссипативных структур, например, при получении сплавов и в других разнообразных известных случаях, когда существуют огромные градиенты температур или других параметров.

Для того, чтобы ликвидировать, якобы существующие противоречия при приложении термодинамического подхода к проблемам эволюционной биологии, отмеченные И. Пригожиным и его коллегами, как сейчас представляется, было бы достаточно показать, что фундаментальные результаты, полученные в области биофизической химии при исследовании *in vitro* можно распространить на эволюционные явления в живой природе — *in vivo*. Но этому мешали отмеченные догмы! Отказ от упомянутых догм позволил бы по-новому взглянуть на многочисленные экспериментальные данные, полученные к тому времени в области биофизической химии и ряде разделов биологии. Сейчас кажется странным, почему это никто ранее не сделал. Ведь достаточно просмотреть, изданный в 1980 году, фундаментальный монографический учебник Ч. Кантора и П. Шиммела [16], чтобы понять, что еще несколько десятилетий назад все могло бы проясниться. Однако тогда

никто даже и не подозревал, что существует возможность выделения термодинамических квазизакрытых моноиерархических систем (подсистем) «внутри» открытых полииерархических природных биологических систем. В тот период, как я уже отметил, закон временных иерархий еще не был сформулирован.

После создания основ термодинамической теории биологической эволюции она постоянно уточнялась и совершенствовалась. Это находило отражение в многочисленных публикациях автора [1—14]. Ряд работ содержал ранее опубликованные мной данные, которые преподносились вновь и вновь с позиций уточненных понятий и определений. Таким образом, я постоянно совершенствовал теорию и приводил новые доводы, которые, как считаю, делали теорию более легко воспринимаемой.

Цель настоящей работы — как можно короче изложить общее решение проблемы (фактически, обозначенной в заголовке работы), не перегружая собственно саму статью длинными уточнениями. Используемые в работе понятия и определения, а также соответствующие отдельные пояснения, представлены в монографиях автора [1, 10, 11, 13]. Настоящую статью можно считать кратким критическим обзором части ранее опубликованного материала, относящегося к вопросу круговорота биологической материи.

Осознание этой и других работ автора, на мой взгляд, все же требует от читателя владения основами физической химии и биологии в рамках всемирно признанных классических университетских курсов и хорошо известных фундаментальных исследований [например, — 16, 18—23].

Замечу также, что в связи с многочисленными недопустимыми недоразумениями в области термодинамики и ее приложений, особенно в биологии, начинающему исследователю целесообразно, по-видимому, ориентироваться только на труды классиков (прежде всего, — в области феноменологической термодинамики) и устоявшиеся (по крайней мере, десятилетиями) учебники, используемые в ведущих университетах мира. Особенно много недоразумений и путаницы имеется на ряде сайтов в Интернете и в модных «учебниках», как правило, написанных непрофессионалами, которые не известны своими крупными трудами в соответствующих областях фундаментальной науки. Многие из них, выражаясь словами знаменитого академика Л. И. Седова [23], являясь дилетантами и фантазерами, даже не представляют, «что такое наука». К сожалению, Министерство образования РФ в последние годы приветствовало издание ряда непригодных пособий, публикуемых массовыми тиражами. На мой взгляд, не следует доверять работам, авторы которых на свой лад, бездоказательно, без каких-либо оговорок, «перефразируют и уточняют» общие законы природы, — законы, которые, разумеется, не противоречат многовековому опыту человечества. В отдельных публикациях я, в меру сил,

пытался обращать внимание читателей на эти обстоятельства [2, 5].

2. Термодинамическая теория происхождения жизни, биологической эволюции и старения живых существ

Теория основана, как я полагаю, на разумных соображениях о возможности использования классической термодинамики (точнее, термодинамики систем близких к состоянию равновесия) иерархических систем для описания явления зарождения жизни, биологической эволюции и старения живых систем [1—14]. Биологические процессы и эволюция живых систем могут быть осознаны в рамках представлений о функциях состояния. Утверждается, что применительно к процессам термодинамической самоорганизации биологических систем на всех иерархических уровнях, эти функции с достаточно хорошим приближением имеют полные дифференциалы.

Таким образом, как мне представляется, обосновано утверждается, что многие эволюционные биологические процессы квазиравновесны, а эволюция квазизакрытых биологических систем направлена в сторону, предписываемую вторым началом термодинамики в его классической формулировке (в формулировке Р. Клаузиуса и Дж. У. Гиббса [15]).

Исследование эволюционного преобразования биологической системы во времени связано с изменением, происходящим в сложной системе «собственно сама система — окружающая среда». Это изменение, прежде всего, определяется изменением состава собственно самой исследуемой эволюционирующей системы. Оно (изменение) может быть описано с помощью вариации удельной функции Гиббса образования исследуемой j -ой системы (подсистемы), $\Delta \bar{G}^j$. Здесь я говорю об изменении этой величины (удельной функции Гиббса образования живой гетерогенной системы) во времени, т. е. — о производной $d\Delta \bar{G}^j/dt$. Другими словами, речь идет о «квазиравновесной кинетической термодинамике» или более точно — о «квазиравновесной кинетической термодинамике квазизакрытых систем». Разумеется, кинетическая термодинамика в описываемой ситуации, как и сама термодинамика, не дает сведений о механизмах молекулярных процессов, а также — о механизмах процессов, касающихся превращений элементарных структур всех иерархий.

Подходы и методы кинетической термодинамики (в общем случае, — термодинамики гетерогенных систем) не противоречат известной линейной термодинамике Л. Онсагера, которая также на феноменологическом уровне описывает поведение систем близких к равновесию. Термодинамика неравновесных процессов Л. Онсагера устанавливает связь между кинетическими коэффициентами, определяющими интенсивность перекрестных процессов переноса теплоты, массы, количества движения, химических реакций и др.

Не могу не сделать важное пояснение, относительно обоснования кинетической термодинамики, которая использует очевидное допущение. Рассматривая изменение $\Delta \bar{G}^i$ во времени, я допускаю, что кинетика (динамика) не накладывает существенные ограничения на процессы структурообразования (т. е. практически не влияет на процессы структурообразования, которые протекают в квазизакрытых системах в квазиравновесных режимах). Предполагается, что «весь выбор» делает термодинамика. Полагаю, что такое допущение, разумно, по крайней мере, при формировании супрамолекулярных структур (в общем случае, — структур всех временных иерархий) в локальных областях биомассы. Действительно, вряд ли кто-либо будет возражать, что при кристаллизации какого-либо вещества из слабо пересыщенного раствора, включая белки, нуклеиновые кислоты и их комплексы, можно получать практически совершенные кристаллы! Это же относится к квазикристаллам, где наблюдается дальний ориентационный порядок, а также — к явлению эпитахсии. Здесь имеется полная аналогия с процессами структурообразования в тканях организма и в структурах высших иерархий. При этом отмечу, что кристаллизация, целью которой является получение хороших (правильных) кристаллов, весьма чувствительна к незначительным изменениям разнообразных факторов (см., например, [16], том 2, стр. 381, рус.). Такое изменение отмеченных факторов, как было впервые четко постулировано в работах [2, 4], с неизбежностью должно проявляется в термодинамических причинах дифференцировки клеток при зародышевом развитии, а также — развитию и старении организмов.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что, формулируя принцип стабильности вещества (приложение 4), как и во многих других случаях, я сравниваю сравнительную стабильность квазизакрытых систем различного состава в ситуации, когда супрамолекулярное равновесие (как и другие внутренние равновесия в структурах различных иерархий) при образовании этих систем, практически, достигнуто. Можно с хорошим приближением считать, что в указанной ситуации удельная функция Гиббса образования структуры собственно самой системы достигла минимума! Другими словами, предполагается, что процесс формирования структуры собственно самой системы в данный момент времени завершен. Подчеркну, что мы имеем принципиально другую ситуацию, когда изучаемый процесс не завершен. В этом последнем случае, как я часто подчеркиваю, упоминаемую удельную величину можно только использовать для выявления степени завершенности образования структуры. В ходе эволюционных процессов (большая шкала времени) эта величина (упомянутая величина или собственно сама функция Гиббса) меняется, стремясь к своему минимуму вследствие изменения состава сложной системы за счет стремления к равновесию этой системы — «собственно сама система — окружающая среда». Очевидно, обсуж-

даемые случаи относятся к разным системам, соответствующие равновесия (различной природы) в которых достигаются по разным причинам и в разных шкалах энергии и времени.

Природные живые системы являются полииерархическими открытыми системами. Эволюция открытых систем, в общем случае, как хорошо известно, не может быть описана методами термодинамики. Однако, когда в открытых природных системах возможно выделять близкие к состоянию равновесия квазизакрытые системы (подсистемы) индивидуальных иерархий, эволюция последних (систем), с хорошим соответствующим приближением, может быть описана в рамках квазиравновесной кинетической термодинамики квазизакрытых систем. Природа сама «делает» выделение этих квазизакрытых систем! Это находит отражение в уже упомянутом законе временных иерархий. Разделение средних времен жизни структур, принадлежащих к индивидуальным иерархиям, посредством сильных неравенств, обосновывается существованием обмена вещества в полииерархических биологических системах. Этот факт, свойственный всему живому, является однозначным неопровержимым, экспериментально наблюдаемым, доказательством закона временных иерархий. Указанное разделение времен необходимое и достаточное условие для термодинамического исследования выделяемых квазизакрытых систем. Последние утверждения подтверждаются всем опытом физики, которая «стоит», образно говоря, на разделении времен [22, 23].

Таким образом, закон временных иерархий позволяет исследовать эволюцию биологических систем в рамках термодинамики квазизакрытых, близких к состоянию внутреннего равновесия, живых объектов. Для ясности поясню, что полииерархическую открытую живую систему можно исследовать путем изучения ее составляющих — моноиерархических квазизакрытых (термодинамически и кинетически) подсистем, принадлежащих к индивидуальным иерархиям.

3. О движущих силах круговорота вещества в живой природе

Под действием энергии солнца (или других источников энергии) химически термодинамически стабильные в условиях биосферы вещества (H_2O , CO_2 и другие) превращаются в энергоемкие химические соединения. Эти процессы рассматриваются как несамопроизвольные. Они, разумеется, происходят в соответствии с первым началом термодинамики и не находятся в противоречии со вторым началом. Далее продукты фотосинтеза (других несамопроизвольных процессов) самопроизвольно вступают в химические превращения в соответствии с законами «темновой» термодинамики [1—14]. Продукты фотосинтеза (других несамопроизвольных процессов) и синтезируемые из них вещества также самопроизвольно при самосборке (термодинамической

самоорганизации) образуют супрамолекулярные структуры, как правило, постоянно увеличивающегося разнообразия. Так возникают органеллы (органойды), клетки, организмы и структуры высших иерархий.

Из принципа стабильности вещества следует, что структуры высших иерархий, вследствие термодинамических причин, со временем обогащаются более энергоемкими (сравнительно нестабильными) структурами низших иерархий. Это приводит к некоторому смещению уровней функции Гиббса низших структур в биомассе в сторону менее отрицательных (положительных) значений. В этом проявляется эффект существования обратных термодинамических связей между иерархиями биологической материи.

Рассмотрим процесс иерархического структурообразования на примере эволюции состава супрамолекулярных структур.

В процессе развития организма и биологической эволюции супрамолекулярной термодинамике, с точки зрения второго начала, «выгодно», чтобы супрамолекулярные структуры тканей организмов в квазизакрытой эволюционирующей системе (подобной равновесной хроматографической колонке) самопроизвольно обогащались бы энергоемкими химическими веществами, имеющими сравнительно низкую химическую стабильность. Сравнительно мало стабильные вещества (с точки зрения стабильности их химической структуры) ускоренно распадаются в биомассе (в биосистеме). В конечном итоге, такие вещества наиболее быстро превращаются в стабильные в условиях биосферы соединения и снова вступают в круговорот. По мере преимущественного самопроизвольного удаления сравнительно нестабильных (мало стабильных) химических соединений из тканей, в соответствии с принципом Ле Шателье — Брауна, они становятся все более и более востребованы соответствующими супрамолекулярными структурами организма. Эти супрамолекулярные структуры самопроизвольно «пополняют» себя новым химически мало стабильным веществом, которое преимущественно вновь превращается в химически стабильные вещества и удаляется из системы. Принцип Ле Шателье — Брауна (справедливый для закрытых и, с известным приближением, — для квазизакрытых систем) «требует», чтобы живые (стареющие) организмы размножались, поскольку это способствует смещению равновесий в направлении, определяемом вторым началом. Как уже отмечалось, термодинамическое рассмотрение функционирования живых объектов не предполагает исследование молекулярных механизмов размножения. Однако, становится очевидным, что размножение живых организмов определяется термодинамическими силами, действующими в соответствии со вторым началом. Упомянутые превращения непрерывно повторяются. Подобные «термодинамические механизмы, точнее, — тенденции» наблюдаются на уровне всех иерархических структур живой материи. Круговорот действует. Следует особо подчеркнуть, что движущей силой, способству-

ющей накоплению энергоемкого химического вещества организмами, прежде всего (на первом этапе самосборки живых систем), является термодинамика межмолекулярных взаимодействий — супрамолекулярная термодинамика [1]. Изменение удельной функции Гиббса образования супрамолекулярных структур организма служит характеристикой степени завершенности онтогенеза и филогенеза.

Здесь уместно отметить, что высшие животные, как хорошо известно, легко аккумулируют жиры (липиды) — химически энергоемкие вещества, которые они (животные) используют для собственных энергетических затрат. Отложение жира (впрочем, как и накопление белков, других биополимеров и ряда сложных веществ) в тканях выгодно с точки зрения супрамолекулярной термодинамики. Жиры — сравнительно химически нестабильные вещества, которые быстро «сгорают», в конечном итоге, превращаются в воду и углекислый газ. Однако избыточное потребление жиров (особенно, высокоплавких) с пищей способствует преждевременному старению, развитию сердечнососудистых и других патологий. Этот вывод согласуется с термодинамическими расчетами и известными данными об увеличении продолжительности жизни животных при использовании низкокалорийных диет. Хотя подобные достоверные данные для человека пока, как полагают, отсутствуют, выводы термодинамической теории позволяют сделать заключение, что и в этом случае низкокалорийные диеты должны способствовать продлению не только здоровой жизни людей, но и должны увеличивать продолжительность собственно самой их жизни. Данное заключение хорошо иллюстрирует возможность предсказательной силы термодинамической теории.

Приведу простой пример, который позволит читателю, возможно, более глубоко осознать высказанные положения.

Поместим в перемешиваемый водный раствор адсорбент (сорбент), обладающий каталитической активностью в реакциях окисления. Пусть в систему (которая подобна проточному химическому реактору), взаимодействующую с атмосферой, непрерывно поступает какой-либо липид — жир (аналог продуктов фотосинтеза). В случае образования при окислении жира углекислого газа и воды, указанные компоненты (углекислый газ и вода), по крайней мере, частично, самопроизвольно удаляется из системы. Система функционирует. Механизм этого процесса можно рассматривать как стадию аналогичного механизма «круговорота вещества» в организме. Через некоторое время обмен вещества в системе замедлится и она, вследствие «старения» адсорбента, подобно живому организму, «умрет». Природа адсорбента изменится, прежде всего, вследствие изменения его состава, обусловленного накоплением на его поверхности (или в его объеме) сравнительно стабильного супрамолекулярного продукта, тяжело удаляемого из системы. Здесь имеется полная аналогия с длительно

действующей равновесной «химически активной» хроматографической колонкой [1, 7], в которую непрерывно поступает поток вещества постоянного состава. Можно привести множество подобных очевидных примеров из мира живой природы. Так, повышенное количество сахара в крови при диабете обуславливает весьма заметное накопление гликозированных (гликозирванных) белков в эритроцитах и других структурных элементах крови, а также в стенках мелких кровеносных сосудов. Эти эффекты приводят, например, к закупорке указанных сосудов и другим известным негативным последствиям. Возможность приложения к таким системам как «термодинамики систем», так и «термодинамики процессов» не вызывает сомнений.

Не безынтересно заметить, что внутренние части частицы химически активного сорбента, вследствие ограниченной доступности липида (или другого «питательного» вещества) длительно сохраняют свою активность. Из-за увеличивающегося осмотического давления, под действием продуктов «обмена веществ», во внутренних областях частиц сорбента, они (частицы) дробятся (раскалываются). Активные зоны этих частиц высвобождаются, и процесс функционирования сорбента продолжается. Эта простая модель позволяет, в принципе, на основе термодинамики представить одну из гипотетических стадий процесса размножения простейших живых объектов.

4. Заключительные соображения

Выявление закона временных иерархий позволяет выделять (вычленять) из открытых полииерархических природных систем квазизакрытые моноиерархические системы (подсистемы), принадлежащие к конкретным временным (структурным) иерархиям.

Еще раз отмечу, что я называю полииерархическими системами реальные природные системы (живые объекты), которые состоят из совокупности структур, принадлежащих к разным структурным и временным иерархиям. В соответствии с этим определением, моноиерархическими системами следует называть системы каждой отдельной структурной или временной иерархии. Таким образом, закон временных иерархий (позволяющий идентифицировать квазизакрытые системы) и представление о квазиравновесности эволюционных биологических процессов структурообразования (самосборки) дают возможность применять кинетическую иерархическую термодинамику систем близких к состоянию равновесия для исследования эволюции живой материи.

Термодинамическая теория возникновения жизни, эволюции и развития живых систем, как и термодинамическая схема круговорота вещества в живой природе, полностью соответствует мировоззренческому предвидению Г. Галилея, Дж. К. Максвелла, Ч. Дарвина, А. Пуанкаре и других классиков естествознания о том, что общие законы природы

должны действовать на всех уровнях организации материи [14, 24]. Биологическая эволюция является одной из составляющих общей эволюции материи. Жизнь, как убеждены многие исследователи, в разнообразных формах возникает, развивается и исчезает в различных уголках Вселенной.

Литература

1. *Гладышев Г. П.* Супрамолекулярная термодинамика — ключ к осознанию явления жизни. Что такое жизнь с точки зрения физикохимика. Издание второе. Институт компьютерных исследований. «Регулярная и хаотическая динамика». Москва Изжевск, 2003. 144 с. Gladyshev G. P. Supramolecular thermodynamics is a key to understanding phenomenon of life. What is Life from a Physical Chemist's Viewpoint; Second Ed.: «Regular and Chaotic Dynamics». Moscow — Izhevsk. 2003. 144 p. (In Russian).
2. *Gladyshev G. P.* Macrothermodynamics of Biological Evolution: Aging of Living Beings. International Journal of Modern Physics B (World Scientific Publishing Company). Vol. 18.No. 6. 2004. P. 801—825.
3. *Gladyshev G. P.* The Hierarchical Equilibrium Thermodynamics of Living Systems in Action. SEED Journal. 2002. № 3. P. 42—59. (Toborsky E., co-editor SEED. Editorial, № 3. P. 1—2). <http://www.library.utoronto.ca/seed/pages>.
4. *Gladyshev G. P.* Thermodynamic self-organization as a mechanism of hierarchical structures formation of biological matter. Progress in Reaction Kinetics and Mechanism (An International Review Journal. UK, USA). 2003. Vol. 28. P. 157—188.
5. *Гладышев Г. П.* Макротермодинамика биологической эволюции и старения живых существ. Физико-химическая диетология. Известия МАН ВШ. № 4 (26). 2003, С. 19—46.
6. *Гладышев Г. П.* Геронтология и физико-химическая диетология. Успехи геронтологии, 2004, Вып. 13. С. 70—80.
7. *Gladyshev G. P.* Thermodynamics of biological evolution and aging. Electron. J. Math. Phys. Sci. 2002. Sem. 2. P. 1—15. www.ejmaps.org.
8. *Гладышев Г. П.* О принципе стабильности вещества и обратных термодинамических связях в иерархических системах биомира. Изв. РАН. Сер. биол. 2002. № 1. С. 5—9.
9. *Gladyshev G. P.* Thermodynamic Theory of Biological Evolution and Aging. Experimental Confirmations of Theory. Entropy. 1999. Vol. 1. №. 4. P. 55—68. www.mdpi.org/entropy.
10. *Гладышев Г. П.* Термодинамическая теория эволюции живых существ. М.: Луч. 1996. 86с.
11. *Gladyshev G. P.* Thermodynamic Theory of the Evolution of Living Beings. N.Y.: Nova Sci. Publ. Inc. 1997. 142 p.
12. *Gladyshev G. P.* A Motive Force of Biological Evolution. Herald of Russian Academy of Science, V. 64, № 2. 1994. P. 118—124.
13. *Гладышев Г. П.* Термодинамика и макрокинетика природных иерархических процессов. М. Наука, 1988. 287с.
14. *Gladyshev G. P.* On the History of Creation of the Thermodynamic Theory of the Origin of Life. Biological Evolution and the Aging of Living Beings. 2004. <http://www.endeav.org/evolut>.
15. *Gibbs J. W.* The Collected Works of J. Willard Gibbs. Thermodynamics. New York: Longmans, Green and Co., 1928. V. 1. P. 55—349. (Рус. Пер. М.: Наука. 1982. 584 с.).
16. *Cantor Cb. R., Schimmel P. R.* Biophysical Chemistry, San Francisco. W. H. Freeman and Company. 1980. (Russian translation, Mir. Moscow, Vol. 1—3. 1984—1985).
17. *Prigogine I.* From Being to Becoming: Time and Complexity and the Physical Sciences. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1980. (Рус. пер. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.).
18. *Alberty R. A.* Physical Chemistry. 7th Ed. New York. Etc.: Wiley. 1987. 934 p.
19. *Silbey R. J., Alberty R. A.* Physical Chemistry, 3rd ed.; John Wiley & Sons: New York, 2001.
20. *Denbigh K. G.* The Principle of Chemical Equilibrium, 3ed Ed. Cambridge Univ. Press. 1971, p. 491.
21. *Sychev V. V.* Thermodynamics of Complex Systems. M: Energoatomizdat. 1986. p. 208.
22. *Bogolubov N. N.* Selected works. Part 1, Dynamical Theory (Gordon and Breach Science Publishers, 1990).
23. *Седов А. И.* Размышления о науке и об ученых. М.: Наука, Академия наук СССР, Математический институт им. В. А. Стеклова. 1980. 440 с.
24. *Пуанкаре Анри.* О науке. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1983. 560 с. (Poincare' A. About Science. M.: Nauka. 1983. 560 p.).
25. *Graves C. W.* <http://www.clarewgraves.com/home.html>. 1965.
26. *Жан-Мари Лен.* Супрамолекулярная химия. Перевод с английского. Новосибирск: «Наука», Сибирское предприятие РАН. 1998. 334 с.
27. *Munster A.* Chemische Thermodynamik. Berlin: Akademie — Verlag. 1969 (Русский пер. Москва. 1971 296 с.).
28. *Kozlov G. V., Novikov.* A cluster model for the polymer amorphous state. 2001. Physica-Uspekhii 44 (7) 681—724.