

Метаболический и энтропийный подходы в моделировании времени¹

Гордон, №1, 2003 г.

© А. П. Левич

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, <http://www.chronos.msu.ru>

Оглавление

Метаболический и энтропийный подходы в моделировании времени.....	1
О парадигме открытого Мира.....	1
Компоненты научных теорий.....	3
Постулаты и следствия в конструкции метаболического времени.....	4
Метаболические часы.....	6
Энтропийное время систем.....	7
Литература.....	10

О парадигме открытого Мира

По отношению к проблемам времени можно сформулировать *неявные предпосылки*, которые преобладают в нынешнем естествознании:

- Изучением времени занимается философия, а не естествознание.
- Время в науке — исходное и неопределяемое понятие.
- Для измерения времени достаточны физические часы, основанные на гравитационных или электромагнитных процессах.
- Проблемы времени в естествознании — это решенные или нерешенные проблемы теории относительности.
- Наша Вселенная — изолированная система.
- В концептуальном арсенале науки нет места субстанциям типа флогистона, светоносного эфира, энтелехии...

В течение XX века в естествознании возникли тенденции, которые приводят к изменению существующей научной парадигмы (Levich, 2003). В истории науки часто оказывалось, что *наиболее трудные проблемы естествознания требовали для своего решения пересмотра представлений о времени*. Это демонстрируют, например, работы Л.Больцмана, А.Эйнштейна, Н.Козырева. Исследования Людвиг Больцмана (Boltzmann, 1872) по анализу противоречия между обратимостью во времени уравнений механического движения и необратимостью уравнений статистической физики привели к постановке вопроса "Обратимо ли время?". Для согласования закона сложения скоростей классической механики с явлениями распространения света Альберту Эйнштейну (Einstein, 1905) оказалось достаточно уточнить операциональную процедуру установления одновременности удалённых друг от друга событий и ввести новый тип часов – "световые часы", или часы Ланжвена. Астроном Николай Козырев (On the Way...,1996), исследуя проблему происхождения источников энергии звёзд, пришел к гипотезе существования новой физической сущности, не совпадающей ни с материей, ни с полем, ни с пространством в обычном их понимании. Он назвал эту сущность "потокотом времени".

¹ Работа поддержана грантом Российского гуманитарного научного фонда № 00-03-00360а.

Ко второй половине нынешнего века стало понятно, что исследователи имеют дело не со временем, а с временами. Появились многочисленные публикации о биологическом, психологическом, социальном и многих других "дисциплинарных" временах. Одна из существенных, на мой взгляд, причин повышения интереса специалистов к временным аспектам своих предметных областей — осознание того, что *часы*, измеряющие изменчивость объектов, *могут быть разными*. Часы — это не только физические процессы, основанные на действии сил гравитации или на электромагнитном излучении атомов. Это и биологические часы — процессы дыхания, деления клеток, роста организмов, смены поколений или видов... Это геологическая летопись, процессы, происходящие в психике, обществе, истории... Главное, чем могут отличаться типы возможных часов, — *равномерность их хода* (Levich, 1995в). Более строго — промежутки времени, оказывающиеся равными при измерении их одними часами, становятся неравными при использовании других часов. Конвенциональность выбора часов достаточно давно осознана методологами науки (Poincare, 1898; Milne, 1948), но только в последние десятилетия решающая важность такой конвенции была отрефлексирована естествоиспытателями. Естественный мотив применения нефизических способов измерения времени при изучении объектов нефизической природы — надежда (порой не беспочвенная: см. Dettlaff, 1995) *обнаружить законы изменчивости* этих объектов, или их "уравнения движения". Построение уравнений динамики естественных систем остается одной из основных задач научного исследования. Обобщенное движение систем, сложное и запутанное при описании с помощью физических часов, может оказаться простым и закономерным при описании в единицах специфического времени, адекватного природе системы.

Ещё одна тенденция нынешнего естествознания, размывающая существующую парадигму, — *возрождение субстанциональных воззрений*. Широкий круг субстанциональных идей эксплуатирует активные свойства физического вакуума: множится набор скалярных, векторных и тензорных полей, предлагаемых для объяснения явлений космологии, физики элементарных частиц, биологии, психики, коммуникаций и претендующих на онтологическое существование. По существу субстанциональна упомянутая выше концепция Н. Козырева. И. Пригожин, решая проблему необратимости времени, вводит в уравнения общей теории относительности дополнительные члены, описывающие "порождение материи из пространства-времени" в форме частиц с планковскими массами (Prigogine et al., 1989). Замечу, что упомянутые и многие другие субстанциональные концепции тяготеют к представлениям *об открытом, а не изолированном* по веществу или энергии *Мире*. Возрождение субстанциональных концепций — своеобразная реакция на долгое парадигмальное господство реляционных взглядов. Впрочем, речь, как правило, не идет о возвращении, например, к упругому светоносному эфиру XIX века. Речь идет о поиске физической структуры пространства и полей. Субстанциональные подходы к природе времени существуют наряду с реляционными теориями (см., например, Aristov, 1995). Эти подходы не противопоставляются, а дополняют друг друга (Левич, 1998).

На пути содержательного включения проблем времени в собственные проблемы естествознания существует одно, все более четко осознаваемое исследователями препятствие. В нынешней науке время — исходное и неопределяемое понятие. Поэтому *основная задача* как исследователей времени, так и специалистов-дисциплинариев — *создание явной конструкции времени*, или его модели. Другими словами, необходима замена времени в исходных понятиях на иные базовые постулаты. После такой замены свойства самого времени можно будет формулировать не в качестве аксиом, а в качестве теорем дедуктивной теории. Обсуждение каких-либо свойств времени становится возможным только в рамках определенной его модели.

Создание конструкции времени фактически состоит в переделывании всего фундамента понятийного аппарата. Ясно, что такая перестройка неизбежно затрагивает широкий круг базовых понятий естествознания. Среди них — пространство, движение, материя, энергия, взаимодействие, заряды, энтропия, жизнь... Таким образом, речь не может идти о частном исследовании, а обязательно об обширной и глубокой исследовательской программе, для выполнения которой могут потребоваться усилия нескольких поколений исследователей. Однако сейчас в названной задаче главное — понять, что она существует. На это понадобилось не одно столетие.

Ныне постепенно вырисовываются *черты новой научной парадигмы*, осознание которой, возможно, поможет развитию как темпорологии, так и всего естествознания:

- Можно говорить о естественных референтах понятия времени. Феномен времени может стать полноправным объектом естествознания.
- Время естественных систем имеет структуру и может быть объектом теоретического моделирования.
- Эталонные процессы, с помощью которых измеряется изменчивость исследуемого объекта, то есть часы могут иметь совершенно различную природу. Различные часы могут оказаться не соразмерными, а получаемые с их помощью описание законов движения — не сводимыми друг к другу посредством простых преобразований.
- Для дальнейшего развития представлений о пространстве, времени, материи, движении и взаимодействии в понятийном базисе естествознания, по-видимому, не хватает каких-либо новых сущностей, появление которых наиболее вероятно в форме субстанциональных подходов.
- Радикальное решение проблем течения и необратимости времени, по-видимому, требует отказа от существования изолированных систем и приводит к представлению об открытом, нелинейном, самоорганизующемся и, возможно, усложняющемся Мире.

Компоненты научных теорий

Цель моего дальнейшего изложения — предложить пример субстанциональной конструкции времени. Считаю нужным предъяснить исследовательский контекст, в который укладывается предлагаемый подход.

Главный для меня мотив изучения времени — надежда обнаружить *пути вывода, а не угадывания законов изменчивость объектов Мира* или, другими словами, — вывода фундаментальных уравнений их обобщенного движения.

Динамические научные теории обязательно включают ряд компонентов, разработка которых осознанно или чаще неявно выступает в качестве этапов создания теорий (Levich, 1995a):

О-компонент: выбор и описание идеализированной структуры элементарных объектов теории.

S-компонент: описание набора допустимых состояний объектов, называемого пространством состояний теории.

C-компонент: описание способов изменчивости объектов.

T-компонент: отображение процесса изменчивости объектов на изменчивость выбранного эталона (часов).

L-компонент: формулировка закона изменчивости объектов, выявляющего их реальное

движение в пространстве состояний. Закон изменчивости, как правило, имеет форму уравнений обобщенного движения теории.

I-компонент: использование набора интерпретирующих процедур, сопоставляющих формальным понятиям теории конкретные объекты предметной области исследования, а последним – величины, измеряемые в эксперименте.

Особое внимание я хотел бы обратить на этапы выбора элементарных объектов, пространства состояний и способов изменчивости объектов теории. A.Newell and H.Simon (1987) назвали совокупность этих этапов *качественными структурными принципами* теории. Приведу примеры таких принципов: атомистическое учение; материальные точки в фазовом пространстве положений и скоростей классической механики; амплитуды вероятностей в бесконечномерном гильбертовом пространстве квантовой механики; устройство атома и строение атомного ядра; гео- или гелиоцентрическая системы ближнего Космоса; космология расширяющейся Вселенной; параллельные Вселенные Эверетта; клеточная теория организмов; бактериальная природа инфекционных болезней; дискретная природа биологической наследственности; популяционная, трофическая и др. структуры экосистем и биосферы Земли; тектоника плит в геологии; классовая теория общества.

Структурные принципы задают рамки, в которых функционируют целые науки. Создание структурных принципов — область, где граничат эмпирические обобщения, наука, интуиция, художественные образы, философия и натурфилософия. Поскольку структурные принципы являются постулатами для будущей теории, то способ их обоснования не так важен, как адекватность самой построенной теории. Без указанных компонентов не существует ни одна научная теория. Можно не осознавать существования качественных структурных принципов, применяя готовую теорию, но нельзя избегать их явной формулировки при создании новых подходов.

В настоящей работе я предлагаю обсудить структурные принципы субстанциональной темпорологии и подходы к параметризации изменчивости, т.е. к выбору часов.

Постулаты и следствия в конструкции метаболического времени

Термин "время" включает в себя, по крайней мере, три различных оттенка смысла: *время-явление* как синоним изменчивости Мира, *время-понятие* как конструкт человеческого мышления и *время-часы* как способ измерения изменчивости. Выбирая первое толкование, мы скажем, что время — это *реалия и феномен*, второе — *конвенция и ноумен*, третье — *операциональная процедура*. Можно отказать какому-либо из указанных смыслов в праве носить имя "время", но это соглашение будет касаться употребления слов, а не стоящих за словами реалий. Мне удобно использовать термин "время" во всех трех смыслах, оговаривая нужный контекст. Если описывать время как явление, то следует указать его природный референт, т.е. процесс или "носитель" в материальном мире, свойства которого можно было бы отождествить или корреспондировать со свойствами, приписываемыми феномену времени. Термин "метаболическое" восходит к Аристотелю, который, описывая изменение как движение в самом широком смысле, называл его "metabole".

Приведу постулаты метаболического подхода к описанию субстанциональной природы времени (Levich, 1995b; c; Левич, 2000a; Levich, 2003):

- Все естественные системы *иерархичны*.

- На каждом уровне иерархического строения системы происходит обязательная замена её элементов — *генеральный процесс* .
- На глубинных уровнях строения систем существуют внешние по отношению к системе *потоки, генерирующие* генеральный процесс. Все системы открыты по отношению к генерирующим потокам. В частности, открытой системой оказывается и наша Вселенная.
- Субстанция генерирующих потоков не является субстратом, представленным частицами-фермионами, атомами, молекулами или другими комплексами частиц, обладающими зарядами и участвующими во взаимодействиях. *Заряды*, ответственные за взаимодействия объектов, есть источники или стоки генерирующих потоков в нашем Мире. (Наглядный образ зарядов – ключевой источник, фонтан или струя, "бьющие" в субстанцииальном "водоеме".) Динамические характеристики генерирующих потоков в источниках и стоках формируют свойства частиц-зарядов и механизм их взаимодействия. Таким образом, субстанция генерирующих потоков не есть "весомая" материя, но порождает эту материю; субстанция не участвует в известных ныне взаимодействиях, но обеспечивает реализацию этих взаимодействий. Другими словами, материальность и способность к взаимодействиям для субстанции генерирующих потоков имеют иной бытийный статус, нежели для "весомой" материи.
- Совокупность элементов генерирующих потоков образует *пространство*, или среду системы.
- Движение системы в её пространстве (*метаболическое движение*) происходит не путем "раздвигания" элементов среды, а путем их замены в системе, а именно, – путем "вхождения" в систему одних "точек" пространства и "выхода" других. (Наглядный образ метаболического движения – движение изображений на экране электронно-лучевой трубки или символов в рекламной "бегущей строке".)
- "Вхождение" генерирующих потоков в систему или "выход" из нее могут быть отождествлены с *течением времени* в системе, т.е. генерирующие потоки представляют собой природные референты течения времени.

Кратко сформулирую некоторые следствия метаболического подхода:

- Феномен времени в нашем Мире – следствие открытости Вселенной и всех её подсистем по отношению к субстанцииальным генерирующим потокам.
- Феномен становления может быть описан и параметризован накоплением или убылью в системе субстанции генерирующих потоков.
- Метаболическое движение есть частный случай течения времени – и то, и другое состоит в замене субстанции среды в рассматриваемой системе.
- В понятии генерирующего потока оказываются слитыми воедино следующие представления: о частицах "весомой" материи как о сингулярностях потока; о пространстве как о субстанцииальной среде; о времени и движении как о процессах замены элементов субстанции в системах; о взаимодействиях частиц как о проявлении динамических характеристик потока.
- Различные "поколения" элементов субстанции генерирующих потоков образуют систему окрестностей частиц-источников в пространстве, порождая понятие "близости" его точек, топологию и метрику.
- Субстанция генерирующих потоков, с одной стороны, вездесуща и всепроникающа в нашем Мире, но, с другой стороны, она не взаимодействует обычным образом с "весомой" материей и поэтому не регистрируется обычными приборами.
- Поскольку субстанция генерирующих потоков не участвует в обычных

взаимодействиях и, "проникая сквозь" объекты, при движении не вызывает обычных для движения в среде эффектов трения или сопротивления, то она не является эфиром XIX века. В понятийном аппарате естествознания наиболее близкими к субстанции понятиями оказываются поле или физический вакуум.

- Генерирующие потоки, принадлежащие различным уровням строения материи, единообразно порождают различные и, возможно, несводимые друг к другу типы зарядов, взаимодействий, пространств и времен. Наряду с зарядами физических взаимодействий в качестве специфических зарядов могут быть рассмотрены и живые организмы, и феномен психики.
- Время, порождаемое генерирующими потоками, оказывается обратимым или необратимым в той же степени и в том же смысле, в каком обратимы или необратимы сами потоки.

Метаболические часы

Измерение изменчивости, то есть отображение процесса изменения на числовое множество, я называю *параметризацией времени*. В рамках метаболического подхода изменчивость формализуется заменами элементов системы на различных уровнях ее иерархического строения. Предлагается измерять изменчивость генерального процесса, подсчитывая количество замененных в процессе элементов. А именно, примем следующие определения (Levich, 1995b):

Часы – эталонный объект, принадлежащий определенному уровню строения системы.

Принцип императивности – изменение набора элементов эталонного объекта на один элемент считаются равными и могут быть приняты за единицу измерения времени.

Метаболические часы – природный объект, замена элементов которого принята за эталон равномерной изменчивости.

Событие (момент времени) – акт замены элемента в системе.

Интервал метаболического времени – количество элементов, заменившихся в системе между двумя событиями.

В рамках предложенной модели можно обсуждать *свойства метаболического времени* (Левич, 1989; 1996):

- Поскольку рассматриваемые подходом системы иерархичны, а генеральный процесс происходит на каждом из уровней строения системы, то метаболическое время оказывается многокомпонентным — каждому уровню строения системы соответствует своя компонента метаболического времени.
- Поскольку часы, изменчивость которых принята за равномерную, принадлежат одному из уровней системы, то замены элементов на других уровнях могут оказаться неравномерными относительно этой эталонной изменчивости.
- Поскольку эталон времени делегируется конкретным иерархическим уровнем конкретной системы, то и измеряемое им время не универсально, а системоспецифично и даже — "уровнеспецифично".
- Если в качестве эталона времени выбран объект определенного уровня естественной иерархии, то события (замены элементов) на более глубоких уровнях иерархии оказываются вневременными, или "мгновенными".

Энтропийное время систем

Количественный аспект метаболического подхода состоит в подсчете количества элементов в множествах, составляющих систему. Процедура сравнения множеств (конечных и бесконечных) по количеству элементов корректно разработана для бесструктурных множеств. Однако, все теоретическое естествознание построено на описании объектов моделирования какими-либо математическими структурами (множества с отношениями, алгебраические конструкции, топологические пространства и др.). В частности, системы, порождаемые несколькими генерирующими потоками, уже не могут быть представлены как иерархии бесструктурных множеств. Поэтому нетривиальное применение метаболического подхода требует умения сравнивать между собой множества со структурой. Это умение должно заменить метод сравнения бесструктурных множеств по количеству элементов в них.

Необходимое умение задается методом функторного сравнения структур (Левич, 1982; Levich, 1995b; Levich, Solovyov, 1999; Левич, 2000б; Левич, 2001). Метод состоит в последовательном обобщении понятия мощности бесструктурных множеств на множества со структурой. Аналоги мощностей для структурированных множеств — "структурные числа" — оказываются упорядоченными лишь частично. Следующий шаг на пути к обобщению состоит в построении представления категории структурированных множеств в категорию бесструктурных множеств с помощью одноместного стандартного функтора. Образами структурированных множеств по этому функторному представлению оказываются множества морфизмов, допустимых заданной структурой. Образами структурных чисел оказываются мощности множеств допустимых морфизмов, причем распространение упорядочения указанных мощностей на структурные числа оказывается линейным. Таким образом, количество допустимых морфизмов заменяет понятие "количество элементов".

Поскольку каждый допустимый морфизм переводит систему в новое состояние без изменения ее общей структуры, то число сохраняющих структуру морфизмов можно интерпретировать как число "микросостояний" системы, сохраняющих ее "макросостояние", т.е. общую структуру. Такая интерпретация позволяет назвать логарифм удельного числа преобразований состояния системы его обобщенной энтропией.

Вслед за попытками распространения Второго начала термодинамики на масштабы Вселенной около века назад возникла идея количественного отождествления собственного возраста системы с уровнем ее энтропии. Плодотворность такого подхода полностью зависит от умения рассчитывать энтропию систем. Чисто термодинамические подходы к расчету энтропии крайне ограничены: "...формулировка Второго начала с точки зрения современного физика представляет собой скорее программу, чем утверждение, допускающее однозначную интерпретацию, так как ни Томпсон, ни Клаузиус не указали точный рецепт, позволяющий выразить изменение энтропии через наблюдаемые величины" (Пригожин, 1985, с. 93).

Теоретико-категорное описание систем, метод функторного сравнения их структур и энтропийная параметризация времени (Левич, 2001; 2002) позволяют:

- Унифицировать идентификацию состояний систем при описании их с помощью структурированных множеств (к такому описанию сводится любое формальное моделирование систем) на языке теории категорий и функторов.
- Предложить строгий подход к сравнению состояния систем по "степени их структурированности".
- Сформулировать экстремальный принцип, согласно которому естественная динамика системы направлена в сторону увеличения степени ее структурированности (принцип

- реализации максимальной структуры).
- Найти точный способ сопоставить каждому состоянию системы значение некоторой числовой функции, монотонно возрастающей вместе с увеличением степени структурированности состояний.
 - Показать, что эта числовая функция может быть интерпретирована как обобщенная энтропия системы и отождествлена с традиционными результатами вычисления энтропии для частных случаев описания систем.
 - Использовать принцип реализации максимальной структуры в качестве обоснования принципа максимальной энтропии.
 - Измерять энтропийное время через количество допустимых структурой системы преобразований. А именно, приращение энтропии есть логарифм величины, показывающей во сколько раз изменилось это число преобразований.

Реализующаяся последовательность различающихся состояний системы названа ее системным временем. Принцип максимальной структуры позволяет наряду со сменой состояний рассматривать возрастающую последовательность степеней структурированности этих состояний, названную структурным временем. И, наконец, принцип максимальной энтропии предлагает согласованное с системным и структурным – энтропийное время системы.

Если системное время имеет чисто качественный характер, задавая лишь последовательность состояний, то структурное и энтропийное времена задают не только последовательность, но и количественную меру состояний. Последовательность моментов структурного времени обладает достаточно экзотическим свойством – частичной упорядоченностью. Моменты энтропийного времени упорядочены линейно, что соответствует привычным представлениям о свойствах времени и позволяет использовать энтропийную параметризацию системного времени для поиска закона изменчивости систем в рамках энтропийной формулировки экстремального принципа.

Следует отметить важное методологическое нововведение в формулировках предлагаемых экстремальных принципов: постулируется не глобальный, а условный экстремум, ограниченный доступными ресурсами среды. Упоминание о ресурсах не случайно, а связано с необходимостью разъяснить происхождение последовательности изменений состояния исследуемых систем (т.е. "природу" системного времени, для которого энтропийное время является лишь количественной мерой изменений). В рамках описанной выше субстанциональной модели "течения" времени любые изменения объектов прямо или косвенно индуцированы генерирующими потоками, которые являются ресурсами, "потребляемыми" меняющимися системами. Тем самым, "ресурс" генерирующих потоков как порождает последовательность смены состояний систем, так и ограничивает степень их изменчивости.

Именно дополнительные ресурсные ограничения, налагаемые на поиск экстремума энтропии систем, отличают предложенный экстремальный принцип от Второго начала термодинамики. Требование безусловного максимума энтропии приводит к однородному распределению элементов в системах, интерпретируемому как хаос и "тепловая смерть". То же требование роста энтропии для открытых систем при ограниченности доступных ресурсов приводит к различию систем, к их развитию и самоорганизации, избавляя Мир от жупела "тепловой смерти". К тому же определение обобщенной энтропии получено вне каких-либо вероятностных предпосылок, из-за чего становится неправомерной интерпретация экстремального принципа как требования перехода от менее вероятных состояний к более вероятным.

В рамках модели метаболического времени существование специфических времен естествознания (физического, биологического, геологического, географического и т.п.) обязано или выбору одного из уровней строения материи (и соответствующего генерирующего потока) в качестве эталонного, или рассмотрению различных типов иерархий на надмолекулярных уровнях строения систем. Как говорилось, метаболическое время оказывается не универсальным, а специфическим для разного рода естественных систем. Применение предложенного в проекте энтропийного экстремального принципа с ограничениями экстремума доступными системе "ресурсами" генерирующих потоков позволяет в рамках вариационного формализма однозначно заменить совокупность нескольких метаболических времен универсальным энтропийным временем, т.е. энтропийное время оказывается "усреднителем" метаболических времен системы (Левич и соавт., 1994):

$$H(\Delta\vec{L}) = \sum_{k=1}^m \lambda^k(\Delta\vec{L}) \Delta L^k,$$

где H – обобщенная энтропия системы; ΔL^k – интервалы метаболических времен; $k = \overline{1, m}$ – индексы, нумерующие потоки, генерирующие изменчивость системы, и соответствующие уровни ее иерархического строения; $\Delta\vec{L}$ – набор переменных $\Delta L^1, \dots, \Delta L^m$; λ^k – множители Лагранжа вариационной задачи на экстремум энтропии H при условии ограниченности потоков ΔL^k .

Количественная взаимосвязь между энтропийным и метаболическим временами системы позволяет:

- Измерять энтропийное время через количества "потребленных" системой генерирующих ресурсов.
- Обнаружить (Левич, Фурсова, 2003) монотонное изменение энтропийного времени по отношению к каждому из метаболических времен системы (аналог теоремы Больцмана о монотонном возрастании статистической энтропии газа с течением "физического" времени).
- Свести вопрос об обратимости или необратимости энтропийного времени к аналогичному вопросу для генерирующих потоков. В силу теоремы о монотонности энтропийного и метаболических времен время оказывается обратимым или необратимым в той же степени и в том же смысле, в каком обратимы или необратимы потоки, по отношению к которым открыта наша Вселенная и которые генерируют ее изменчивость.
- Переформулировать энтропийный экстремальный принцип как принцип "минимального метаболического времени" (аналог принципа минимального времени Ферма) из-за равносильности (Левич, Фурсова, 2003) вариационной задачи на максимум энтропии с ограничениями по метаболическим временам-ресурсам задаче на минимум "потребления" ресурса с ограничениями на степень структурированности системы (аналог теоремы Гиббса о двойственности задач на максимум энтропии и минимум энергии).

Методологические и методические результаты, полученные в проекте, нашли приложения при исследовании реальных систем, в частности, при моделировании экологических сообществ (Левич, 1980; Левич с соавт., 1997; Levich, 2000; Фурсова с соавт., 2003).

Литература

1. Левич А.П. Структура экологических сообществ. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1980. 180 с.
2. Левич А.П. Теория множеств, язык теории категорий и их применение в теоретической биологии. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1982. 190 с.
3. Левич А.П. Метаболическое время естественных систем // Системные исследования. М.: Наука. 1989. С. 304-325.
4. Левич А.П. Субституционное время естественных систем // Вопросы философии. 1996. № 1. С. 57-69.
5. Левич А.П. Время – субстанция или реляция?..Отказ от противопоставления концепций // Философские исследования. 1998. № 1. С. 6-23.
6. Левич А.П. Природные референты времени: становление как изменение количества субстанции // Философия науки. Вып.6. М.: ИФ РАН. 2000а. С. 48-53.
7. Левич А.П. Энтропия как мера структурированности сложных систем // Труды семинара "Время, хаос и математические проблемы". М.: Институт математических исследований сложных систем МГУ им. М.В.Ломоносова. Вып. 2. 2000б. С. 163-176.
8. Левич А.П. Энтропия как обобщение понятия количества элементов для конечных множеств // Философские исследования. 2001. № 1. С. 59-72.
9. Левич А.П. Время и энтропия // Вестник РГНФ. 2002. № 1. С. 110-115.
10. Левич А.П., Фурсова П.В. Задачи и теоремы вариационного моделирования // Фундаментальная и прикладная математика. 2003 (в печати).
11. Левич А.П., Алексеев В.Л., Никулин В.А. Математические аспекты вариационного моделирования в экологии сообществ // Математическое моделирование. 1994. Т. 6. № 5. С. 55-71.
12. Левич А.П., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г. Теоретическая и экспериментальная экология фитопланктона. М.: Изд-во НИИ. 1997. 192 с.
13. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Прогресс. 1985.
14. Фурсова П.В., Левич А.П., Алексеев В.Л. Применение экстремальных принципов в математической биологии // Успехи современной биологии. 2003 (в печати).
15. Aristov V.V. Relative Statistical Model of Clocks and Physical Properties of Time // On the Way to Understanding the Time Phenomenon: The Constructions of Time in Natural Science. Part 1. Interdisciplinary Time Studies. Ed. A.P.Levich. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific. 1995. Pp.26-45.
16. Boltzmann L. Weitere Studien uber das Warmegleichgewicht unter Gasmolekulen // Sitzber. Akad. Wiss. Wien. 1872. Bd.6.S.275-376.
17. Dettlaff T.A. Clocks for Studying Temporal Laws of Animal Development // On the Way to Understanding the Time Phenomenon: The Constructions of Time in Natural Science. Part 1. Interdisciplinary Time Studies. Ed. A.P.Levich. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific. 1995. Pp. 85-97.
18. Einstein A. Zur Elektrodynamik der Bewegter Korper // Ann. Phys. 1905. 17. S.891-921.
19. Levich A.P. Motivations and problems of studying time // On the Way to Understanding the Time Phenomenon: the Constructions of Time in Natural Science. Part 1. Interdisciplinary Time Studies. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific. 1995a. Pp. 1-15.
20. Levich A.P. Time as Variability of Natural Systems: Ways of Quantitative Description of Changes and Creation of Changes by Substantial Flows // On the Way to Understanding the Time Phenomenon: The Constructions of Time in Natural Science. Part 1. Interdisciplinary Time Studies. Ed. A.P.Levich. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World

- Scientific. 1995в. Pp. 149-192.
21. Levich A.P. Generating Flows and a Substantial Model of Space-Time // Gravitation and Cosmology. 1995с. V.1. №3. Pp. 237-242.
 22. Levich A.P. Variational modelling theorems and algocoenoses functioning principles // Ecological Modelling. 2000. V.131. Pp.207-227.
 23. Levich A.P. Paradigms of natural science and substantial temporology // Nature of Time: Geometry, Physics and Perception. Kluwer Academic / Plenum Press. 2003 (in press).
 24. Levich A.P., Solov'yov A.V. Category-functor modelling of natural systems // Cybernetics and Systems. 1999. V.30. №6. Pp.571-585.
 25. Milne E.A. Kinematic Relativity. Oxford. 1948.
 26. Newell A., Simon H.A. The Informatics as Empirical Investigation: Symbol and Search // ACM Turing Award Lectures. New York: ACM Press. 1987.
 27. On the Way to Understanding the Time Phenomenon: The Constructions of Time in Natural Science. Part 2. The "Active" Properties of Time According to N.A.Kozyrev. Ed. A.P.Levich. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific. 1996. 201 p.
 28. Poincare A. La mesure du temps. Revue de Metaphysique et de Morale. 1898. V.6. Pp.1-13.
 29. Prigogine I., Gehegan J. Grunzing E., Nardone P. Thermodynamics and Cosmology // General Relativity and Gravitation. 1989. V.21. P.1