

Joint Institute for Nuclear Research

MODERN PROBLEMS
OF RADIOBIOLOGY, RADIOECOLOGY
AND EVOLUTION

*Proceedings of the International Conference
dedicated to the Centenary of the Birth
of N. W. Fimofeeff-Ressovsky*

Dubna, 6–9 September 2000

Объединенный институт ядерных исследований



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ
И ЭВОЛЮЦИИ

*Труды Международной конференции,
посвященной 100-летию со дня рождения
Н. В. Тимофеева-Ресовского*

Дубна, 6–9 сентября 2000 г.

Дубна ОИЯИ 2001

УДК 577.391(042+091)
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434
С56

Под общей редакцией **В. И. Корогодина**
Составители: **В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина**

Использованы документы и фотографии из личных архивов
В. И. Иванова, В. И. Корогодина, Ц. М. Авакяна,
П. Д. Усманова, М. А. Реформатской.

Обложка **Ю. А. Туманова**

Edited by **V. I. Korogodin**
Composed by **V. L. Korogodina, N. I. Dubrovina**

Documents and pictures are from the personal archives of
V. I. Ivanov, V. I. Korogodin, Ts. M. Avakian,
P. D. Usmanov and M. A. Reformatskaya.

Title page design by **Yu. A. Tumanov**

Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции: Тр.
С56 **Международ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Н. В. Тимофеева-Ресовского / Под общ. ред. В. И. Корогодина; Сост.: В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина. — Дубна: ОИЯИ, 2001. — 493 с.; 23 с. фото.**

ISBN 5-85165-673-5

Сборник включает статьи и доклады, представленные на международной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции», посвященной 100-летию юбилею русского ученого Н. В. Тимофеева-Ресовского (Дубна, 6–9 сентября 2000 г.). Помимо оригинальных научных статей по генетике, радиобиологии, радиоэкологии, самоорганизации материи и эволюции, в книгу вошли воспоминания коллег, учеников, друзей Н. В. Тимофеева-Ресовского, а также документы, публикуемые впервые.

Книга содержит портреты Н. В. Тимофеева-Ресовского и фотографии, сделанные на конференции.

Издание представляет интерес для широкого круга читателей.

УДК 577.391(042+091)
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434

ISBN 5-85165-673-5

© Объединенный институт ядерных исследований, 2001

СУДЬБА ИДЕЙ Н.В.ТИМОФЕЕВА-РЕСОВСКОГО ОБ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РОЛИ «ПРИНЦИПА УСИЛИТЕЛЯ» В ПРИРОДЕ

Г.Т. Гурия

Гематологический научный центр РАМН,
Ново-Зыковский проезд, 4а, Москва, 125167, Россия

Влияние, оказанное Н.В.Тимофеевым-Ресовским на эволюцию взглядов научного сообщества в XX веке, исключительно велико. Современная генетика, радиобиология, теория микроэволюции немыслимы без работ Н.В.Тимофеева-Ресовского [1]. Менее широко известно, в какой мере выдвинутые Н.В.Тимофеевым-Ресовским идеи оказали влияние на развитие современных представлений о самоорганизации далеких от равновесия систем, в том числе биологических. Цель настоящих заметок показать универсальное значение сформулированного Н.В.Тимофеевым-Ресовским “принципа усилителя” [2] и смежных идей о авторепродукции биологических структур (см., например, [3]). По-видимому, значение этого круга идей выходит за рамки биологии и естествознания в целом, они охватывают и самовоспроизводимые «долгоживущие» явления в культуре [4, 5].

В XX веке идеи о самовоспроизводстве и усилении сыграли центральную роль в развитии естествознания. Вряд ли можно переоценить создание теории цепных реакций в химии, атомной физике, теории горения и физике лазеров. Эти идеи легли в основу разнообразных индустриальных технологий. Стержневым элементом любого цепного процесса является способность входящих в него субстанций (или активных частиц) воспроизводить самих себя. В химических системах это может обеспечиваться за счет автокаталитических реакций, в атомной физике речь идет о размножении нейтронов, в физике лазеров – квантов излучения и т.д.

Развитие этих взглядов в химии и физике [6] шло параллельно с развитием идей о матричном копировании в биологии [7, 8]. Именно благодаря матричному копированию элементов наследственности биологические системы демонстрируют способность к самовоспроизводству. Более того, в ряде ситуаций этот процесс может принимать самоускоренный, лавинообразный характер.

Суть сформулированного Н.В.Тимофеевым-Ресовским и Р.Ромпе “принципа усилителя” в том, что «для перекодирования наследственной информации в макроскопические свойства организмов необходим специальный физический процесс – механизм «усилителя» [2]. “Основное ядро проблемы об усилителе в области биологии составляет вопрос о том, в какой мере статистические исходные единичные явления усиливаются до макрофизических эффектов (которые, таким образом, являются также в основе своей статистическими) и в какой степени такие процессы играют роль в управлении развитием онтогенеза и филогенеза” [2]. Проблема в том, каким образом статистические по своей природе, индетерминированные, по представлениям школы Н.Бора, микрофизические атомные и молекулярные события и процессы управляют макроскопическими и внешне весьма регулярными процессами роста и развития организмов.

В биологии трансляция информации с одного уровня масштабов на другой, более высокий, реализуется повсеместно. При этом в ряде случаев на смену индетерминизму и «статистичности» свойств микромира приходят черты макроскопической пространственной упорядоченности. Последние устойчиво воспроизводятся из поколения в поколение. Это и заставляет думать о существовании универсального общего «принципа усиления» в природе.

«Насколько велика роль таких первично-случайных и усиленных, регулирующих биологических процессов в жизни организмов, - пишет в 1959 году Н.В.Тимофеев-Ресовский, - мы пока судить не можем, ибо наши знания об элементарных биологических явлениях, особенно в онтогенетическом плане, еще очень отрывочны и недостаточны». Было непонятно и то, в какой мере структурное макроскопическое упорядочение является следствием действия механизмов масштабного усиления.

В то же время было совершенно ясно, что именно усиление (способность к множественной «авторепродукции» [3]) дает шансы биологическому виду выжить в борьбе за существование. В ходе эволюции механизмы биологического усиления, эффективность их включения и выключения в зависимости от внешних обстоятельств должны были совершенствоваться.

Последующее развитие этих взглядов показало, насколько они содержательны. Из работ, выполненных в 60-70-е годы, прежде всего укажем на работы М.Эйгена.

показавшего, что самовоспроизводство макромолекул невозможно без существования своеобразных кинетических циклов их взаимопревращений – гиперциклов [9]. По Эйгену, гиперциклы являлись первичными самовоспроизводимыми кинетическими структурами, возникшими на заре добиологической молекулярной эволюции. Эйген и Шустер продемонстрировали, что гиперциклы без усиления (или же с недостаточно большим усилением) не смогли бы выжить в борьбе с внешними обстоятельствами и конкурентной борьбе с себе подобными [10]. В свете этого стало понятно фундаментальное значение принципа усиления: без него, по Эйгену, было бы вообще невозможно самопроизвольное зарождение жизни и самоорганизация ее форм.

Общие идеи о роли процессов внутреннего самоусиления в разнообразных физико-химических и биологических системах получили развитие в работах И.Р.Пригожина, его учеников и последователей [11]. Было показано, что широкий круг далеких от равновесия систем демонстрирует способность к спонтанной самоорганизации, т.е. к переходу в состояния с пространственно-временной организацией из исходно неупорядоченных состояний. В числе таких неравновесных систем наиболее важное место занимает открытая Б.П.Белюсовым система химических автокаталитических реакций [12]. Изучение круга неравновесных явлений в этой системе, выполненное в конце 60-х - начале 70-х годов, открыло новую страницу в современной теории нелинейных распределенных возбудимых систем [13, 14].

Более того, оказалось, что «принцип усилителя» лежит в основе циклических самоускоренных автоколебательных и автоволновых неравновесных явлений не только в химических, но и в биологических системах. К числу таких явлений относятся колебания при гликолизе, генерация и распространение нервного импульса, внутриклеточные колебания кальция и ряд других [15,16]. По сути, все биологические сигнальные системы так или иначе эксплуатируют в своей работе принцип усиления. Именно вследствие способности к локальному внутреннему усилению открывается возможность эстафетной передачи незатухающего сигнала на макроскопические расстояния в реальных биологических системах. Без этого, в частности, немислимо функционирование нейронов.

По современным представлениям, формирование макроскопических структурных признаков на ранних этапах онтогенеза обусловлено действием своеобразных

усилительных механизмов в кинетике ключевых метаболитов (морфогенов) [17-19]. Получили развитие соответствующие физико-математические методы описания активных и возбудимых сред, т.е. пространственно-распределенных сред, обладающих способностью к внутреннему усилению сигналов [20-24]. Оказалось, что широкий круг критических явлений в далеких от равновесия системах самой различной природы обладает чертами сходного окологрнического поведения [25]. Неравновесные переходы в нелинейных возбудимых системах оказалось естественным трактовать с позиций теории катастроф [26].

Недавно в научный обиход вошло новое понятие – возбудимая среда с активным восстановлением [27]. Речь идет о средах, в которых внутреннее усиление присуще не только процессам генерации возбуждения, но и процессам, направленным на его гашение, т.е. на восстановление исходных свойств возбудимой среды. Такого рода процессы могут быть обусловлены взрывным самоускоренным производством ингибитора возбуждения. Выяснилось, что процессы неравновесного структурообразования в средах с активным восстановлением носят весьма необычный и причудливый характер [28].

Представления о возбудимых средах с активным восстановлением продолжают развиваться как в общем теоретическом отношении, так и в связи с возможной ролью такого рода процессов при агрегатных превращениях в динамике свертывания крови [29-31]. Система свертывания крови в силу своего физиологического назначения призвана обеспечивать остановку кровотечений. Среди других биологических систем регуляции она привлекает внимание своим сверхвысоким (доходящим до 10^9) коэффициентом усиления. В основе ее работы лежит сложный многоступенчатый каскад ферментативных реакций, который в реальных сосудах обычно запускается в окрестности места повреждения сосудистой стенки. Изучение петель положительных и отрицательных обратных связей в сети протеолитических реакций регуляции свертывания показало, что автокаталитические стадии должны иметь место как при наработке тромбина, основного активатора реакций тромбообразования [32], так и при генерации ингибиторов свертывания [33].

Скорость наработки активных форм ключевых метаболитов (факторов системы свертывания) – сериновых протеаз – из их неактивных форм, циркулирующих

постоянно в крови, определяет пороговые свойства и интегральные коэффициенты усиления на главных этапах формирования тромбов. Исключительно важным является то, что быстрота срабатывания каскада системы свертывания существенным образом определяется уровнем предсуществующих в крови неактивных форм факторов свертывания. В свою очередь, уровень последних помимо прочего детерминируется генетически. Известные генетические нарушения определяют дефицит отдельных факторов (например, факторов VII и IX при гемофилиях А и В) или же их повышенное содержание.

Как следствие, динамические возможности тромбообразования, такие как высота порога активации свертывания или характерные времена тромбообразования, оказываются непосредственно обусловленными генетическими особенностями конкретного человека. Наиболее распространенные мутации и характер вызываемых ими нарушений в кинетике наработки конкретных факторов системы свертывания к настоящему времени достаточно подробно исследованы [34].

Развитые в ГНЦ РАМН теоретические подходы позволяют устанавливать взаимосвязь между величинами концентраций факторов системы, с одной стороны, и величиной порога активации свертывания в конвективных и бесконвективных условиях – с другой. Наибольший интерес при этом, естественно, вызывают ситуации, когда величина порога активации обращается в нуль. Они соответствуют условиям абсолютной потери устойчивости жидкого состояния крови. Проведенный теоретический анализ позволил выявить класс коагулологических и гидродинамических возмущений, вызывающих дестабилизацию жидкого состояния крови. Проанализировано, в какой мере различные генетические нарушения влияют на сужение или расширение класса критически допустимых возмущений.

В экспериментальной системе *in vitro* изучена пороговая гидродинамическая активация процессов свертывания крови. Зарегистрированы несколько качественно различных классов пространственно-временного поведения растущих тромбов в потоке.

В совокупности наши теоретические и экспериментальные данные подтверждают мысль о том, что без ультравысоких коэффициентов усиления в системе регуляции свертывания крови развитие тромбов не в состоянии эффективно противодействовать

конвективному массопереносу. Другими словами, исключительно высокие коэффициенты усиления в каскадных сетях реакций регуляции свертывания призваны в норме обеспечить быстрое и эффективное тромбообразование и остановку кровотечения.

Таким образом, изучение каскадных биохимических механизмов регуляции свертывания крови в настоящее время идейно базируется на выдвинутом Н.В.Тимофеевым-Ресовским “принципе усилителя”. Особенность в том, что в случае с кровью мы имеем дело с очень сильным усилителем. Функционирование систем с таким высоким коэффициентом усиления при их «несанкционированном» запуске (т.е. за пределами нормы) особенно примечательно. Проведенный в нашей работе анализ вариантов “ошибочного” запуска этого усилителя показал, что каскад реакций свертывания может быть активирован во внутрисосудистом русле за счет чисто гидродинамических возмущений (например, связанных со скачками давления). Это может повлечь за собой как локализованное, так и диссеминированное тромбообразование. Чем ниже генетически предопределенная величина порога активации свертывания, тем шире класс возмущений, способных спровоцировать внутрисосудистое тромбообразование [30,31].

Приведенные выше примеры далеко не исчерпывают спектр работ, в которых нашли развитие представления Н.В.Тимофеева-Ресовского о роли “принципа усилителя” в биологии. Без способности к стремительному самовоспроизводству сохранение в биосфере отдельных ее компонентов в течение длительного времени оказывается невозможным. Это дало основание исследователям при развитии аксиоматического подхода к построению теоретической биологии одну из центральных аксиом – «аксиому усиления» назвать именем Н.В.Тимофеева-Ресовского [35,36].

Способность к внутреннему усилению в биологической системе делает возможным ее быструю эффективную реакцию на внешние воздействия. По этой причине усиление лежит в основе всех биологических систем рецепции сигналов, систем узнавания и “раннего оповещения”. По современным представлениям, именно принцип порогового усиления сигналов лежит в основе регуляции высшей нервной деятельности [37,38]. Само по себе формирование условных рефлексов (так же как и ныне модные молекулярные теории обучения) невозможно мыслить без использования

принципа активного усиления (или же активного торможения) сигналов [37]. Интересно, что сходные идеи в общей форме были выдвинуты более столетия назад [39].

Иными словами, выдвинутый Н.В.Тимофеевым-Ресовским в качестве фундаментального принципа организации природы принцип усиления получил в последней четверти XX века свое плодотворное развитие в естествознании при описании макроскопических эффектов в природе с позиций молекулярного и кинетического подходов. Сегодня во многих случаях имеется возможность детально, шаг за шагом, проследить взаимосвязь между отдельными точечными мутациями в ДНК и обуславливаемыми ими макроскопическими последствиями.

К сожалению, не так счастливо, на мой взгляд, сложилась судьба «принципа усилителя» в отношении интерпретации роли сугубо квантовых (в том числе субатомарных) процессов в биологической регуляции. Надежды, высказанные Н.Бором, на открытие каких-либо новых чисто биологических принципов трансформации энергии на квантовом уровне пока не реализовались [40]. Этот круг вопросов еще ждет своих исследователей.

Способность к самовоспроизводству и усилению присуща не только биологическим (в современной терминологии живым) системам. В культуре (в широком понимании этого слова) оба эти фактора – и самовоспроизводство, и усиление – играют ключевую роль. Мы все являемся свидетелями того, какую трансформацию претерпели основные социальные, научные и художественные идеи в течение XX века. Поразительна скорость развития этих процессов, их динамизм и стремительность.

Наиболее быстрые переходы претерпевают системы, склонные к внутренним неустойчивостям, т.е. обладающие большим внутренним усилением (в свете теории устойчивости, системы с положительным максимальным показателем Ляпунова [41]). Эти вопросы, по современным представлениям о нелинейной хаотической динамике сложных систем с частично положительными показателями Ляпунова («У-системы») (т.е. систем, обладающих внутренним усилением), заставляют нас вновь задуматься о горизонтах предсказуемости того мира, в котором живем [42,43].

Перечитывая Н.В.Тимофеева-Ресовского, слушая магнитофонные записи с его голосом, поражаешься его глубокой вере в универсальность законов развития всех форм

культуры, всех ее ветвей, как гуманитарных, так и естественнонаучных. Возможно, причина этого кроется в том, что в центре культуры в широком понимании этого слова всегда стоит человек – отдельный человек [44, 45]. Может быть, единство и целостность культуры в какой-то мере обязаны своим существованием принципу усиления, незримо связывающему события, протекающие на разных уровнях: от квантового (мутации генов) до организменного, социального, геологического и биосферного. В результате в культуре все оказывается взаимосвязанным.

Дошедшие до нас из глубокой древности вечные проблемы, касающиеся добра и зла, хаоса и порядка, предсказуемости и непредсказуемости ясно показывают, что “старые” культурные подходы и “слои мысли” не умирают бесследно [46,47]. Они как бы “засыпают на время” (консервируются). Складывается впечатление, что имеет место своеобразное “спорообразование” в культуре. За счет него, по-видимому, идет туннелирование идей и передача информации из поколения в поколение (или даже через несколько поколений), минуя хорошо известный в современной науке “main stream” [48].

С эволюционной точки зрения в самом “биоразнообразии” идей и способов их «инкрустации» в культурный контекст эпохи залог стабильности развития всей культуры, в том числе той ее части, которую сегодня принято называть естествознанием. Каким идеям и когда “просыпаться” в культуре, диктует Время. Суть в том, что заложенные в основу самовоспроизводства элементов культуры принципы усиления позволяют делать такого рода “пробуждение” внезапным, заранее непредсказуемым. По-видимому, так часто возникающие метаморфозы в культуре, в полной аналогии с их биологическими прототипами, тому яркое подтверждение [48].

От эпохи к эпохе менялись представления людей о причинах и закономерностях устойчиво, раз за разом, воспроизводимых сюжетов и коллизий бытия. Говоря современным языком, существование универсальных принципов и законов «нелинейных метаморфозов» волновало людей задолго до того, как произошло разделение наук на естественные и гуманитарные. Проблемы хаоса и порядка, устойчивой воспроизводимости и «хрупкости» наблюдаемых явлений были известны намного раньше, чем их удалось в соответствии с традициями новейшей истории символично «зашифровать» и математически «реинкарнировать» в конце XX века [52].

Эстетика “полной определенности” как необходимой основы для предсказуемости, повсеместно принятая в математике и физике конца XIX – начала XX века, оказалась поколебленной сначала в рамках квантовой механики [49], затем в математике [50] и, наконец, во всей современной нелинейной науке [42, 51]. Такие понятия, как «самоорганизованная критичность» [43], «странный аттрактор» [51], «хрупкие объекты» [52], вошли в повседневный научный и культурный обиход.

Принципиальная непредсказуемость будущего, по Н.В.Тимофееву-Ресовскому, с одной стороны, делает малопродуктивным планирование научных открытий, а с другой стороны, служит предостережением тем из ученых, кто “со звериной серьезностью” стремится к истреблению миноритарных страт культуры. Такими действиями только сужается “биоразнообразие” науки, т.е. основа для ее выживания в будущем. Ученые не должны недооценивать меру своего сегодняшнего незнания. Похоже, эти, вообще-то «старые», идеи вновь стали обретать особенное звучание [45,53].

Н.В.Тимофеев-Ресовский, безусловно, стоит в одном ряду с выдающимися мыслителями-“глобалистами” XX века, такими как Н.Бор и В.И.Вернадский. Истинное значение и роль принципа усиления в обеспечении всеобщей взаимосвязи явлений в этом мире и пронизывающем всю культуру внутреннем единстве, несмотря на кажущееся разнообразие внешних форм, возможно, еще ждет своего более полного осмысления.

Ввиду всего нашего незнания о мире в особом свете предстает тот факт, что Н.В.Тимофеев-Ресовский познакомил ученых конца XX столетия (в основной своей массе стихийных и идейных материалистов) с глубокой этической максимой о “непостыдной смерти”. Где кончается индивидуальная свобода, в том числе свобода творчества, и где начинается ответственность ученого перед современниками, “духами предков” и потомками?

Вообще говоря, “непостыдная смерть” для ученого в современной отечественной науке, толкуемая широко, может не иметь ничего общего со смертью физической. Под таким углом зрения на предмет замечаешь, что в одних случаях авторы переживают выдвинутые ими идеи. В других – идеи продолжают не только жить, но и «самостоятельно» развиваться после смерти авторов.

Такие факты нельзя понимать иначе, как проявление самовоспроизводства и “принципа усилителя” в культуре. Творения выдающихся людей продолжают жить своей самостоятельной жизнью. Похоже, именно так обстоит дело и с “принципом усилителя”, выдвинутым Н.В.Тимофеевым-Ресовским [35, 36].

Возможно, непостыдная смерть для ученого в вышеприведенном смысле подразумевает, помимо прочего, “консервацию” (в биологических терминах “спорообразование”) оригинальных идей и других “вторичных продуктов творчества”, которые таким образом обретут принципиальную возможность в качестве культурных элементов дойти до наших потомков. Сегодня вряд ли можно представить, сколько таких “культурных спор”, оставленных Н.В.Тимофеевым-Ресовским, еще ждет времени своего пробуждения.

Автор благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за поддержку работ по гранту 99-04-48759 «Роль неустойчивостей в динамике крови» и компанию «Demos Internet» (Москва) за содействие в работе.

Список литературы

1. Альбетс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки: В 3-х т. М.: Мир, 1994.
2. Тимофеев-Ресовский Н.В., Ромпе Р.Р. О статистичности и принципе усилителя в биологии // Проблемы кибернетики. – М., 1959. Вып. 2. С. 213-228.
3. Тимофеев-Ресовский Н.В. О механизмах авторепродукции элементарных клеточных структур. Из истории вопроса. // Тимофеев-Ресовский Н.В. Избранные труды. М.: Медицина, 1996. С. 172-202.
4. Лотман Ю.М. Культура и взрыв. М.: Гнозис: Семиотика, 1992.
5. Моисеев Н.Н. Расставанье с простотой. М.: Аграф, 1998. 480 с.
6. Семенов Н.Н. Цепные реакции. М.: Госхимтехиздат. 1934. 555 с.
7. Koltzoff N.K. Physicalish-Chemische Grundlagen der Morphologie // Biol. Zbl. 1928. Bd 48.
8. Кольцов Н.К. Организация клетки. М.-Л.: Биомедгиз, 1936. 652 с.
9. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. – М.: Мир, 1973. 216 с.

10. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. М.: Мир, 1982. 272 с.
11. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
12. Белоусов Б.П. Периодически действующая реакция и ее механизм // Рефер. по радиац. мед. за 1958 г. М.: Медгиз. 1959. С. 145 (см. также: Автоволновые процессы в системах с диффузией: Сб. ст. Горький: Изд-во ГГУ, 1951. С.176-186).
13. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. М.: Наука, 1974. 178 с.
14. Колебания и бегущие волны в химических системах / Ред. Р.Филд, М.Бургер. М.: Мир. 1988. 720 с.
15. Иваницкий Г.Р., Кринский В.И., Сельков Е.Е. Математическая биофизика клетки. М.: Наука, 1978. 310 с.
16. Spatio-temporal organization in nonequilibrium systems: contributions to the Dortmunder Dynamische Woche / Ed. S.C.Muller, Th.Plessler. Dortmund: Projekt-Verl., 1992. 290 p.
17. Белинцев Б.Н. Физические основы биологического формообразования. М.: Наука, 1991. 251 с.
18. Kauffman S.A. The Origins of Order. Oxford University Press, 1993. 709 p.
19. Wolpert L. Principles of Development. Oxford University Press, 1998. 484 p.
20. Романовский Ю.М. . Степанова Н.В. , Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М.: Наука, 1984. 304 с.
21. Маркин В.С., Пастушенко В.Ф., Чизмаджев Ю.А. Теория возбудимых сред. М.: Наука, 1981. 275 с.
22. В.Эбелинг. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979. 280 с.
23. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы. М.: Наука, 1987. 240 с.
24. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992. 544 с.
25. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
26. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 126 с.
27. Гурия Г.Т., Лобанов А.И., Старожилова Т.К. // Биофизика. 1998. Т.43. Вып.3. С.526-534.

28. Лобанов А.И., Старожилова Т.К., Гурия Г.Т. // Математическое моделирование. 1997. Т.9. № 8. С.83-95.
29. Ataulakhanov F.I., Guria G.T., Sarbash V.I., Volkova R.I. // Biochimica et Biophysica Acta. 1988. V.1425. P.453-468.
30. Чуличков А.Л., Николаев А.В., Лобанов А.И., Гурия Г.Т. // Математическое моделирование. 2000. Т.12. № 3. С.76-95.
31. Гузеватых А.П., Лобанов А.И., Гурия Г.Т. // Математическое моделирование. 2000. Т.12. № 4. С.39-60.
32. Davie E.W. Biochemical and Molecular Aspects of the Coagulation Cascade // Thrombosis and Haemostasis. 1995. V.74(1). P.1-6.
33. Атауллаханов Ф.И., Гурия Г.Т. Пространственные аспекты динамики свертывания крови. I. Гипотеза. // Биофизика. 1994. Т.39. Вып.1. С.89-96.
34. Single Base-Pair Substitutions Causing Venous Thrombosis.
<http://www.cf.ac.uk/uwcm/mg/hgmd0.html>.
35. Медников Б.М. *Biologia axiomatica*. М.: Знание, 1982. 136 с.
36. Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Высш. шк., 1998. 336 с.
37. Роуз С. Устройство памяти. От молекул к сознанию. М.: Мир, 1995. 384 с.
38. Кальоти Дж. От восприятия к мысли. М.: Мир, 1998. 221 с.
39. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. СПб., 1866. 186 с.
40. Bohr N. *Atomtheorie und Naturbeschreibung*. Berlin, 1931.
41. Ляпунов А.М. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 540 с.
42. Пределы предсказуемости / Ред. Ю.А.Кравцов. М.: ЦентрКом, 1997. 256 с.
43. Режимы с обострением. Эволюция идеи: Законы коэволюции сложных структур: Сб. статей к юбилею С.П.Курдюмова. М.: Наука, 1998. 255 с.
44. Фон Хайек Ф.А. Познание, конкуренция и свобода. СПб.: Пневма, 1999. 288 с.
45. Бродский И. Меньше единицы: Избранные эссе. М.: Независимая газета, 1999. 472 с.
46. Крамер С.Н. История начинается в Шумере. М.: Наука, 1991. 235 с.
47. Конфуций. Я верю в древность. М.: Республика, 1995.
48. Корогодина В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. Дубна: Феникс, 2000. 208 с.
49. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории. Л.-М.: ГТТИ, 1932. 146 с.

50. Клайн М. Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984.
51. Трубецков Д.И. Колебания и волны для гуманитариев: Учебное пособие для вузов. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1997. 392 с.
52. Де Жен П.-Ж., Бадос Ж. Хрупкие объекты. М.: Мир, 2000. 189 с.
53. Рерих Н. Врата в будущее. Рига: Виеда, 1991. 226 с.