

## О ДАРВИНИЗМЕ И НОМОГЕНЕЗЕ: КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ

С.Н.Гринченко

Институт проблем информатики РАН (Москва)  
sgrinchenko@ipiran.ru

### Аннотация

Дискуссия между сторонниками основных теорий биологической эволюции – селектогенеза (дарвинизма) и номогенеза – происходит, в основном, в русле противопоставления их одна другой, хотя высказываются и мнения, что эти концепции не взаимоисключающие, а дополнительные. В поддержку последней позиции предлагается использовать выдвинутый ранее И.И.Шмальгаузенем междисциплинарный кибернетический подход. Согласно его современному виду, живая природа представляет собой *кибернетическую систему*, имманентно включающую механизм иерархической адаптивной поисковой оптимизации её энергетики. Поведение одной части элементов и связей такой модели живого интерпретируется в терминах дарвинистских версий теории эволюции, а другой части – номогенетических.

Насколько можно судить по литературе, уже много десятилетий подряд продолжается дискуссия по поводу справедливости основных теорий биологической эволюции – селектогенеза (дарвинизма и неodarвинизма, «синтетической теории эволюции» и т.п.) с одной стороны, и номогенеза (ламаркизма, теорий направленности эволюции Л.С.Берга и др.) – с другой. В основном апологеты каждой из этих теорий настаивают на адекватности именно своего понимания эволюции живого. На этом фоне как-то теряются мнения некоторых эволюционистов, которые утверждают идею необходимости их синтеза в единую теорию, в частности: «...дискуссия между сторонниками номогенеза и дарвинистического подхода основана на непонимании того, что эти концепции дополнительные, а не взаимоисключающие» [1], и «...естественный отбор бесспорно остаётся движущим фактором эволюции, но не единственным. Дарвиновская и “недарвиновская” эволюции взаимно не противоречивы» [2], стр.606. Получается, что диспутанты не слышат как друг друга, так и предложения о синтезе их альтернативных позиций. Возможно, для выхода из этой, практически тупиковой, ситуации, стоит воспользоваться междисциплинарным подходом, а именно: привлечь соображения, базирующиеся на *кибернетическом рассмотрении живой природы* (т.е. на интерпретации её в терминах теории управления).

Является ли подобный кибернетический подход к биологической эволюции чем-то новым? Нет, не является. Ещё в 1958 г. И.И.Шмальгаузен опубликовал в Зоологическом журнале статью «Регулирующие механизмы эволюции», в которой представил регулирующий механизм эволюции популяции в виде кибернетического цикла и отметил, что сама эволюция оказывается автоматически регулируемым процессом прогрессивной адаптации, а «этот кибернетический цикл является лишь перефразировкой дарвиновского понимания эволюции» [3], стр.177. По мнению А.А.Ляпунова, высказанному в 1962 г., «управление можно объявить характеристическим свойством жизни в широком смысле» [4], стр.208.

Но дальнейшего развития эти идеи тогда не получили, и причинами этого, по-видимому, являлись не столько неготовность тогдашних биологов-эволюционистов к их восприятию, сколько и главным образом – недостаточная разработанность аппарата собственно кибернетики на тот, начальный период её развития. Опора лишь на элементарные кибернетические представления тогда – в 1950-1960-х гг. – крайне ограничивала возможности синтезируемых на их базе моделей эволюции.

Ситуация резко изменилась в этом смысле к началу 1970-х гг. с созданием в технической кибернетике аппарата *экстремального управления* (поисковой оптимизации) – универсального управляющего инструментария, применимого в том числе и при моделировании сложных природных систем. Именно этот аппарат положен в основу *информатико-кибернетической концепции* [5-7], в рамках которой живая природа рассматривается как иерархическая кибернетическая система (управления, или точнее, – *самоуправления*), представители уровней/ярусов которой перманентно реализуют процесс своего приспособительного

поведения, осуществляя это по алгоритмам *иерархической адаптивной поисковой оптимизации* (процесса движения к цели, в отличие от оптимальности – состояния достигнутой цели).

В рамках предлагаемой концепции к фундаментальным свойствам системы живой природы отнесена *обобщенная адаптивность*, или *обобщенная приспособляемость*, реализующая имманентную системе живого тенденцию к активности, экспансивности и структурируемости посредством стремления к *гармоничности*, т.е. к согласованию внутренних интересов подсистем с потребностями их внешнего окружения. Термин *обобщенная* указывает здесь именно на то важнейшее явление, что адаптивность проявляется – причем *перманентно* – по отношению к изменениям не только *внешней* (для целостной системы живой природы) неспецифической среды, но и её *внутренней* специфической среды. Это справедливо для всех основных уровней интеграции системы живого.

Таким образом, для того, чтобы выявить особенности процессов биологической эволюции, следует:

- 1) построить кибернетическую модель иерархической биологической системы как целого,
- 2) изучить закономерности приспособительного поведения представителей всех уровней/ярусов в модельной иерархии (каждый из которых изменяется со своим характерным временем), и
- 3) интерпретировать соответствующие модельные переменные как эволюционные.

Основными средствами реализации поисково-оптимизационного процесса являются:

1. селекция направленная (задающая тенденцию изменения приспособительного поведения субъектов группы в направлении экстремума энергетического целевого критерия № 1),
2. селекция канализирующая (задающая предпочтительные варианты приспособительного поведения субъектов группы согласно целевому критерию № 2),
3. селекция ограничивающая (запрещающая нежелательные варианты приспособительного поведения субъектов группы согласно целевому критерию № 3),
4. селекция посредством внешнего дополнения (никак не связанная с проявлениями активности субъектов в составе группы),
5. канализируемость структурная (посредством параметрических влияний системной памяти [5] на все перечисленные четыре типа селекции).

Таким образом, эффективный и универсальный механизм/контур поисковой оптимизации (что продемонстрировано в технической кибернетике: см. напр., [8]) должен включать, по крайней мере, три основных элемента [5]:

- генератор *имманентной активности* поисковых переменных в контуре оптимизации;
- *селектор* получаемого результата, наличие которого однозначно определяет и присутствие в контуре оптимизации блока вычисления её *целевой функции*;
- *системную память*, реализующую свойство адаптивности поискового алгоритма.

Представим интерпретацию указанных элементов механизма/контура поисковой оптимизации в биологических терминах.

**1) Поисковая активность.** Представители всех ярусов в иерархии живого проявляют *активность*, которую можно интерпретировать как *поисковую*. По мнению В.С.Ротенберга, «Поисковая активность – активность, направленная на изменение ситуации (или отношения к ней) при отсутствии определенного прогноза результатов этой активности, но при постоянном учете достигнутых результатов» [9]. К поисковым «рысканиям» относятся, например, тремор, флуктуации, дрожания и т.п. действия многоклеточных организмов, характерные небольшими вариациями (колебаниями, модификациями, изменениями) уровня их специфической активности относительно «среднего» значения. Об активности живого пишут Л.С.Берг («Замечательно, что организм обладает способностью активно приспособляться к среде, обнаруживая при этом как бы присутствие некоего *внутреннего регулирующего принципа*» [10]), Н.А.Бернштейн («Активность выступает как наиболее общая всеохватывающая характеристика живых организмов и систем» [11]) и др. М.Д.Голубовский отмечает: «открытия в области подвижной генетики показали, что клетка как целостная система в ходе отбора может адаптивно перестраивать свой геном. Она способна ответить на вызов среды *активным*

генетическим поиском, а не пассивно ждать случайного возникновения мутации, позволяющей выжить» [12]. Применительно к интерпретации эволюционного процесса: поисковая активность является непосредственной причиной «изменчивости» – важнейшей составляющей дарвиновской «триады».

**2) Энергетические критерии поисковой оптимизации.** С позиций предлагаемой концепции, биообъекты, относящиеся к «основным уровням интеграции живого» (т.е. «элементарным» – прокариотам и ультраструктурным внутриклеточным элементам, сложным клеткам-эвкариотам, многоклеточным организмам, биогеоценозам и Биосфере в целом), проявляют *тенденцию* вести себя таким образом, чтобы перманентно выполнялось условие:

$$Q_t = \frac{E_t^{(p)}}{E_t^{(\phi)}} \rightarrow \min, \text{ где: } t - \text{ интервал усреднения времени; } E_t^{(\phi)} - \text{ поток энергии, затрачиваемой}$$

на обеспечение специфической функциональной активности биообъекта (напр., для клетки – рецепции входных сигналов и обеспечения выходной реакции);  $E_t^{(p)}$  – поток дополнительной энергии, вырабатываемой во время переходных процессов в биообъекте и затрачиваемой на перестройку его внутренней структуры. Речь идёт именно о долговременной тенденции, ибо реакция биообъектов на текущие раздражители связана с увеличением  $E_t^{(p)}$ .

Легко показать, что минимизация  $Q_t$  (т.е. целевого критерия/целевой функции поисковой оптимизации) эквивалентна максимизации «к.п.д.» такого биообъекта (если рассматривать, с точки зрения внешней специфической среды, в качестве «полезных»  $E_t^{(\phi)}$ , а в качестве «бесполезных» –  $E_t^{(p)}$ ). Близкие трактовки эволюционной роли энергетических потоков в биосистеме высказываются в ряде работ. Они опираются на представления о всеобщности применения вариационных принципов в естествознании, о которых Н.Н.Моисеев пишет: «любые законы неживого мира – вариационные принципы, из которых следуют законы сохранения в механике, электродинамике и других областях физики, второй закон термодинамики, закон минимума диссипации энергии и многие другие, описываемые в терминах «эволюционной теории» в широком смысле, поскольку все эти законы являются, по сути дела, тем или иным отбором реальных движений, реальных траекторий из числа виртуальных, т.е. мысленно возможных» [13]. И.И.Гительзон прямо указывает, что «наибольший интерес представляет стремление найти количественное выражение *энергетической зависимости эволюции* и вывести её принципы через энергетические принципы экстенсивного и интенсивного развития. Эти показатели приобретают не оценочное, а фундаментальное значение *факторов, направляющих эволюцию*, если строго доказать, что каждый элементарный шаг отбора на уровне микроэволюции даёт энергетический выигрыш» [14]. С позиций предлагаемой концепции в качестве «элементарного шага отбора» следует рассматривать иерархическую совокупность серий поисковых шагов оптимизации энергетики живого, производимых на соответствующих ярусах его иерархии, а не какой-то отдельный поисковый шаг отдельного представителя того или иного яруса (могущий приводить и к локальному «проигрышу»). Применительно к интерпретации эволюционного процесса: совокупность целевых критериев поисковой оптимизации является необходимым элементом механизма «естественного отбора» – другой важнейшей составляющей дарвиновской «триады».

**3) Системная память** – понятие, которое было введено в работе [5] как характеристика запоминания/забывания влияний со стороны высших ярусов иерархической поисковой оптимизационной системы живой природы на процесс формирования приспособительного поведения элементами каждого из вложенных в последние (по принципу «матрешки») низших ярусов. Именно наличием межъярусной *системной памяти* живая природа отличается от неживой. Можно утверждать, что первичные механизмы поисковой оптимизации в системе природы, т.е. те механизмы, которые работали, начиная с момента её возникновения (как *системы*), могли быть только *абсолютно случайными*, с равномерным распределением вероятностей случайного шага во всех направлениях поискового пространства. Но затем, по мере *развития* системы природы и выделения в ней подсистемы *живой природы*, среди этих ме-

ханизмов с необходимостью (за счет появления средств запоминания предыстории поиска, т.е. *системной памяти*) стали появляться их адаптивные варианты. Последние, обладая существенно более высокой эффективностью, и, в частности, возможностью перманентно обеспечивать компромисс между противоречивыми требованиями к поиску (повышения его быстродействия при одновременном повышении точности отслеживания экстремума целевой функции) – находят себе все большее применение. Но при этом они не вырождаются в «полностью» детерминированные алгоритмы, сохраняя в своих основных характеристиках ту или иную степень случайности. Применительно к интерпретации эволюционного процесса: *системная память* иерархической системы живого обеспечивает *канализируемость* его эволюции, т.е. феномен, на который указывает ряд номогенетических теорий.

Процессы во *всех* пяти контурах поисковой оптимизации энергетики живой природы (рис. 1) реализуют процессы обобщённой адаптации. Но традиционно сравнительно быстро (по отношению к темпу нашего их восприятия) протекающие приспособительные процессы, т.е. происходящие в иерархических контурах системы живого «Сложные клетки–Элементы» и «Многочлеточные организмы–Сложные клетки», называют *адаптацией* (соответственно *клеточной* и *организменной*). По аналогии сравнительно медленно (по отношению к темпу нашего их восприятия) протекающие приспособительные процессы, т.е. происходящие в контурах «Биогеоценозы–Многочлеточные организмы» и «Биогеосфера–Биогеоценозы», следует называть *эволюцией* (соответственно *биогеоценотической* и *Биогеосферной*). К определяемым таким образом процессам эволюции нельзя относить процессы, связанные с ростом иерархии самой системы живого. Т.е. в рамках предлагаемой концепции намечается новый ракурс исследования эволюционных процессов в живой природе, при котором микроэволюционные исследования отдельных видов выступают в качестве первичных этапов изучения фрагментов более «объёмной» биогеоценотической эволюции, а макроэволюционные – фрагментов более «объёмной» Биогеосферной эволюции.

Определив понятие «*метаэволюция*» как *процедуру наращивания числа ярусов в иерархической системе в ходе её формирования как таковой*, укажем, что именно метаэволюция описывает процессы, связанные с возникновением в отдалённом прошлом Земли представителей новых ярусов развивающейся иерархической системы живого: вначале, ориентировочно около 3,6 млрд. лет назад, прокариот, затем, около 2,59 млрд. лет назад, – сложных клеток-эвкариот, далее, около 1,58 млрд. лет назад, многоклеточных организмов, и, наконец, около 0,57 млрд. лет назад, биогеоценозов. В настоящее время идёт формирование Биогеосферы как *единой* самоуправляющейся системы [5], но пока оно находится в своей начальной фазе (т.е. эффективность оптимизационного процесса минимальна). Предлагаемая концепция базируется на том, что процесс метаэволюции живого не является приспособительным, а, напротив, происходит вполне регулярно (причём внутри указанных миллиардолетий длительности её меньших фаз подчиняются простой математической закономерности). В противоположность этому процессы как клеточной и организменной адаптации, так и биогеоценотической и Биогеосферной эволюций являются приспособительными.

На рис. 2 приведена реконструкция схемы «дарвиновского» механизма биологической эволюции, т.е. то видение этого механизма, которое могло бы быть у современных последователей Ч.Дарвина – «неодарвинистов», если бы они рассмотрели его иерархически, причём «спроецированная» на схему механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы [5]. Очевидно, что сложность их несопоставима...

Предлагаемая кибернетическая иерархическая схема живой природы демонстрирует, что в эволюционном процессе участвуют представители не только четырёх ярусов иерархии живого – т.е. отдельные гены, геномы как целое, организмы и популяции, – но и представители девяти других его ярусов. При этом иерархически входящие в эволюционирующие биоценозы организмы, эвкариотические клетки и ультраструктурные внутриклеточные элементы перманентно (каждый в своем типичном времени, различающемся на несколько порядков!) *оптимизируют* – в энергетическом смысле и в иерархически достаточно автономных режимах – *свои структуры и поведения* в своих контурах оптимизации. Именно этот факт

естественным образом объясняет высокую эффективность и относительно сжатые сроки (~4,6 млрд. лет) всего интегрального биоэволюционного процесса на Земле – явление, которому креационисты не находят другого объяснения, кроме проявления Божественной воли.

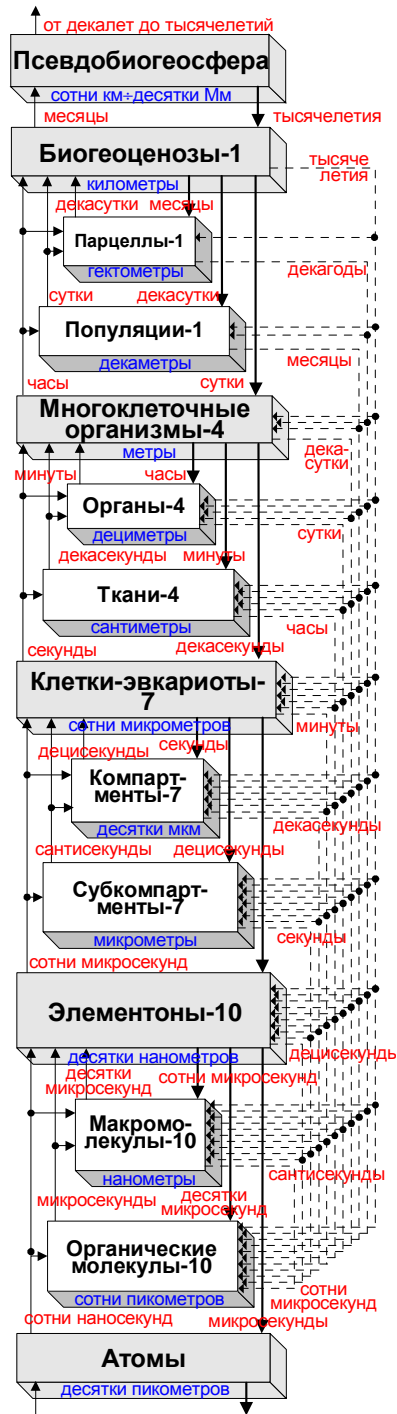
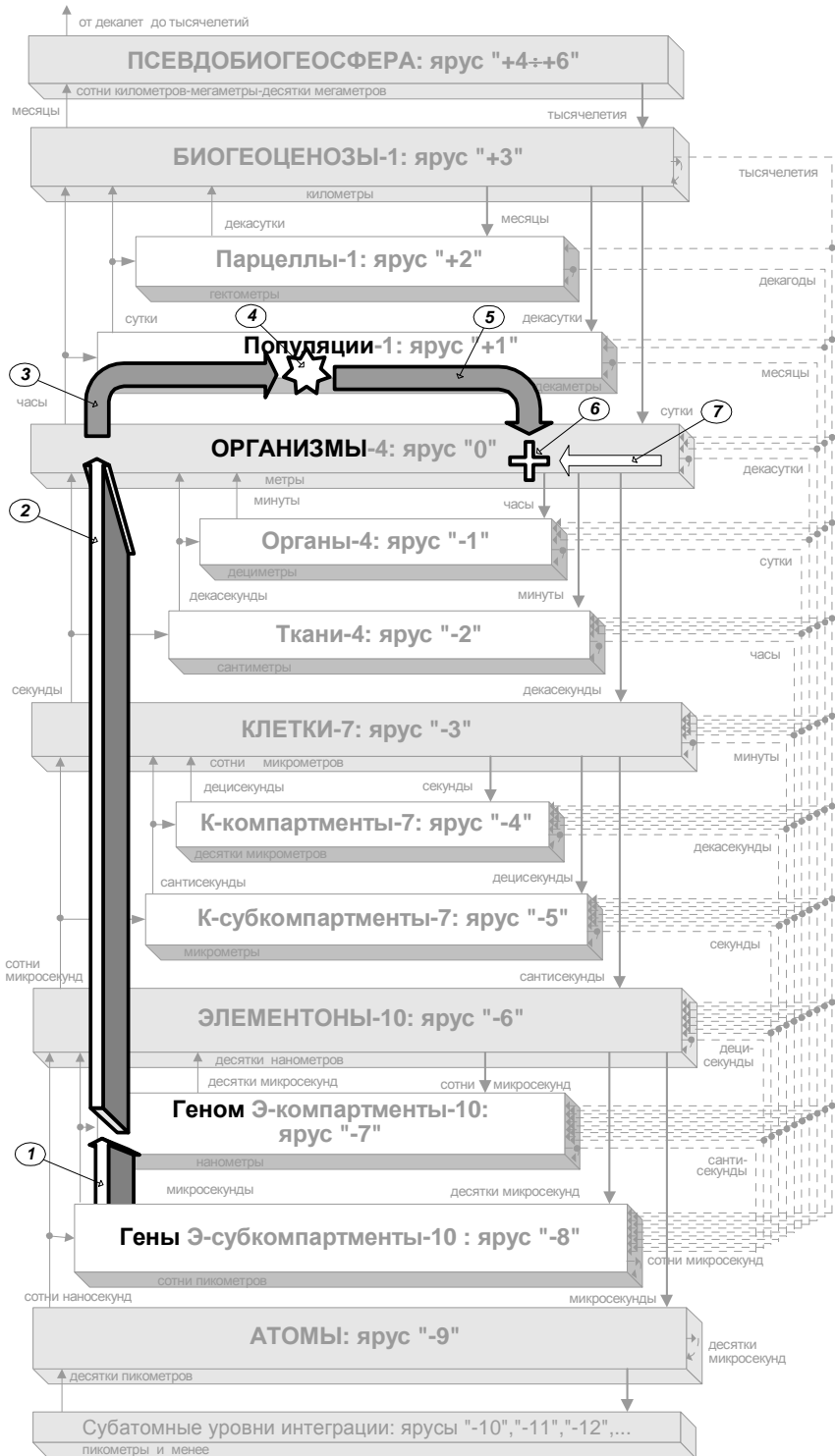


Рис. 1. Схема механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живого.

На рис.2: 1 – активность, т.е. изменчивость, проявляемая генами; 2 – процесс онтогенеза, отражающий наследственность; 3 – проявление активности организмов в рамках популяций; 4 – селектор получаемого на базе конкурентной борьбы между особями результата, т.е. естественный отбор на базе критерия «приспособленности»; 5 – процесс сообщения отрицательного результата селекции на организменный уровень; 6 – процедура изъятия организма из популяции; 7 – «внешнее дополнение», также приводящее к его устранению из популяции.



Примечание: стрелки, направленные вверх, имеют структуру (отражают отношение) «многие - к одному», а вниз - «один - ко многим».

Рис. 2. Проекция реконструкции «неодарвинистской» модели биологической эволюции на схему механизма иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы.

Кроме того, становится понятным, почему *конкретные события* эволюционного процесса – в отличие от его *тенденции* – принципиально не могут быть предсказуемы: случайная составляющая поиска присутствует в нём всегда (даже если поведение каждого из активных компонентов оптимизационного контура вполне регулярно с их «точки зрения», то поведение всей совокупности таких компонентов – т.е. на уровне высшего иерархического яруса – выглядит как случайное: у последнего отсутствуют возможности для фиксации поведения каждого из его компонентов).

Что же касается дарвинистской схемы, то необходимо признать, что из трёх основных составляющих поискового оптимизационного механизма биоэволюции Ч.Дарвином гениально угадано (причём около 150 лет назад, за сотню лет до создания кибернетики!) примерно «полтора»:

- 1) введено (хотя и неявно) понятие «генератора активности», что следует из трактовки им понятия «*изменчивости*» (которое вполне можно интерпретировать в качестве «поисковой активности») как фундаментального в его теории;
- 2) введён прообраз селектора – «*естественный отбор*» и прообраз целевой функции (правда, не в полной форме, включающей целевой критерий экстремального типа, а лишь в форме целевых ограничений типа неравенств и селекции посредством внешнего дополнения) – т.е. прообраз собственно контура оптимизации как такового (но всего лишь одного, а не пяти, иерархически вложенных друг в друга, как это оказывается).

В свою очередь, многие факты, которыми обосновывают теории номогенеза, хорошо ложатся в схему третьей составляющей этого механизма – системной памяти живого. Тем самым дарвинистские и номогенетические теории эволюции – точнее, их *модифицированные версии* – объединяются в рамках единой схемы *перманентной иерархической адаптивной поисковой оптимизации живой природы*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жерихин В.В., Раутиан А.С. Филогенез и эволюционные кризисы. 1997. – <http://www.macroevolution.narod.ru/rautian2.htm>
2. Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М.: Издат. отдел УНЦ ДО МГУ, Прогресс-Традиция, АБФ, 1999.
3. Шмальгаузен И.И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968.
4. Ляпунов А.А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. М.: Наука, 1980.
5. Гринченко С.Н. Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры). – М.: ИПИРАН, Мир, 2004. – 512 с. – см. также <http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/>
6. Гринченко С.Н. Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы). – М.: ИПИРАН, 2007. – 456 с. – см. также [http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/book\\_2/](http://www.ipiran.ru/publications/publications/grinchenko/book_2/)
7. Гринченко С.Н. Теории биологической эволюции и кибернетика: новый синтез // Эволюция: Дискуссионные аспекты глобальных эволюционных процессов. Междисциплинарный альманах, вып. 3. М.: Либроком, 2011, С. 81-102.
8. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения. Рига: Зинатне, 1981.
9. Ротенберг В.С. Поисковая активность, сон и устойчивость организма // Кибернетика живого: человек в разных аспектах. М.: Наука. 1985. С. 80-91.
10. Берг Л.С. Номогенез, или эволюция на основе закономерностей. Петербург, Госиздат, 1922.
11. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
12. Голубовский М.Д. Неканонические наследственные изменения // Природа, 2001, №8: 3-9, №9: 3-8.
13. Моисеев Н.Н. Козволюция человека и Биосферы: кибернетические аспекты // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 68-81.
14. Гительзон И.И. От редактора // В кн.: Печуркин Н.С. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. Новосибирск: Наука, 1982. С. 3-4.