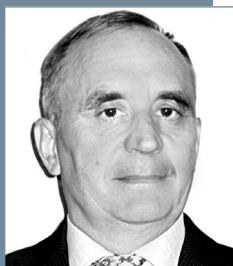


# МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ И КОНТУРЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ПОДХОДОВ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОГНИТИВНОЙ НАУКИ

## Часть II

**А.Б. Казанский**



**А.Б. Казанский**, Научно-исследовательское предприятие РАН "Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова" РАН, с. н. с., канд. биол. наук  
kazansky.a@yandex.ru

*В работе с общих позиций анализируются известные теоретические модели организационно-замкнутых систем в биологии и кибернетике. Такие системы способны к саморазвитию путем «самораскрутки», многоуровневого мета-рекурсивного процесса, называемого часто бутстрапированием ("bootstrapping"). В класс подобных «бутстрап-систем», в частности, вписывается понятие биосферы, биологического организма, экологической и социальной системы, самозагружающегося программного обеспечения компьютера, сети Интернет, эволюционно самообучающегося робота или коллектива роботов.*

*Рост интереса к подобным процессам и системам делает актуальной задачу поиска языка для их адекватного описания, формализации, классификации и построения общего аналитического аппарата.*

*Ключевые слова: бутстрап, автопоэзис, кибернетика второго порядка, голономия.*

### 4. Математика и бутстрап-системы

В целом, никто из системных теоретиков, разработавших системные модели саморазвивающихся организационно-замкнутых систем – Ф. Варела, Р. Розен и Дж. Кампис – не предложили конструктивного достаточно полного и строгого формального аппарата для их описания.

Франциско Варела использовал несколько модифицированную логику различений Спенсера-Брауна для анализа уже упомянутого «собственного поведения» автореферентных систем. Для этого он внес в такое весьма нестандартное исчисление своего рода логическую обратную связь – «повторный вход». Р. Розен осознавал, что классическая теория множеств неприменима к описанию таких систем и рекомендовал использовать аппарат теории категорий, удобный для конструирования рекурсивным образом организованных структур отношений (морфизмов (M-R)). Попытки

описания системы Розена и автопоэзиса на языке теории категорий уже предприняты [1].

Как уже упоминалось, химик Джордж Кампис разработал системную концепцию, похожую на автопоэзис. Он назвал её «компонент – система» ("component-system"), или самомодифицирующаяся система [2]. Самомодифицирующаяся система Камписа – это просто коллекция компонент, которые способны трансформировать друг друга и совместно формировать более крупные компоненты. Фактически, это автокатализ, или химический вариант автопоэзиса. При этом Дж. Кампис выдвинул тезис о том, что подобные системы не алгоритмизуемы, не вычислимы и даже привел подобие доказательства. Правда, Бен Гёрцель показал, что компонент-система Камписа как и автопоэзис вполне представимы стохастическим а тем более квантовым вариантами машины Тьюринга, то есть в принципе вычислимы. Он также

предложил соответствующий математический аппарат (см. ниже).

Фонтана и Басс [3] ввели понятие конструктивной динамической системы, в которой взаимодействия, то есть химические реакции, рассматриваются как алгебраические операции на множестве типов молекул. В формальной системе под названием «АлХимия» (англ. "AlChem") использовано лямбда-исчисление А. Черча, которое реализовано в языке искусственного интеллекта LISP. Теоретической моделью подобной системы является так называемая универсальная машина Тьюринга. Недавно было также доказано, что модель (M,R-System) Р. Розена вполне описывается в терминах лямбда-исчисления, то есть в принципе вычислима.

Оспаривая тезис Дж. Камписа о том, что самоорганизующиеся системы не вычислимы, Бен Гёрцель [4] предложил взять за основу их описания теорию гипермножеств, которая является расширением классической теории множеств. Эти множества могут содержать себя в качестве элемента, что, как известно, приводит к парадоксу Бертрانا Рассела. Рассмотрим множество, содержащее все множества, которые не содержат себя. Содержит ли это множество себя в качестве элемента? Пусть оно содержит себя. Тогда оно не является множеством, которое не содержит себя, оно не может содержать себя. Но с другой стороны, если оно не содержит себя, то оно должно быть элементом себя, поскольку оно есть множество всех множеств, которые не содержат себя. Более популярная формулировка логического парадокса Рассела такова: Есть город, в котором брадобрей бреет всех мужчин, которые не бреют себя сами. Кто бреет брадобрея?

Для того чтобы исключить подобные парадоксы, Рассел добавил в аксиоматическую теорию множеств аксиому, по которой ни одно множество не может содержать себя в качестве элемента. Более того, Рассел развил теорию логических типов Фреге. Но в 1930 г. Курт Гедель в теореме о неполноте показал, что любая формальная конечная система содержит недоказуемые высказывания, что еще раз подтвердило, что аксиома Рассела избыточна и не устраняет парадоксы. Правда, математики никогда не видели пользы от множеств, которые содержат себя в качестве элементов и поэтому смирились с этой избыточностью. Но в последнее время развитие теории сложных биологических систем и системного программирования способствовало появлению интереса к гипермножествам или, как их еще называют, «плохообусловленным» множествам. Ситуация напоминает отбрасывание аксиомы о параллельности в геометрии Лобачевским, который в результате открыл ворота в интересный и полезный мир неевклидовых геометрий. Сходным образом сейчас активно разрабатывается математика, базирующаяся на теории гипер-

множеств [5]. В такой математике существуют объекты, которые содержат друг друга в качестве элементов, как бы это ни казалось парадоксальным обычному рассудку. Так, гиперфункция может содержать себя в области определения своего аргумента. Гёрцель ввел также понятие гиперотношения и показал, что именно такие конструкции хорошо описывают модели автопоэзиса и самоорганизующейся системы Камписа.

Следует отметить, что фрактальность в математике связана с так называемыми *p*-адическими числами. Данные структуры демонстрируют свойства, похожие на свойства гипермножеств. Можно условно сказать, что мир фракталов – это один из простейших и универсальных вариантов реализации бутстрапа в неживой и живой природе, это как бы вырожденный тип бутстрапа.

Далее, Гёрцель предложил довольно широкий класс неклассических систем, которые он назвал «самогенерирующимися» или, менее формально, «системой магов» (англ. "magician system"). Формальная система магов состоит из коллекции сущностей, называемых «магами», которые могут посылать заклинания друг на друга и тем самым изменять или уничтожать других магов. Маг **A** может «послать заклинание», превращая мага **B** в мага **C**; или маги **C** и **D** могут вместе послать заклинание, создавая мага «анти-**A**», который уничтожает мага **A**. Гёрцель формализовал систему магов с помощью абстрактных алгебр и гиперкомплексных чисел, оперируя с гиперкомплексными фракталами и др. конструкциями.

Динамика популяции магов напоминает работу продвинутых обобщенных эволюционных алгоритмов. Автопоэтическая система – частный случай системы магов с особым аттрактором «взаимосозидания» в контексте «магической динамики» с «конспиративной структурой». Конспиративная структура – это множество паттернов, которые производят себя путем взаимного распознавания образов. Таким образом, автопоэтическая система – это множество магов, которое производит себя путем взаимных преобразований через «послание заклинаний».

Характерно, что в лямбда – исчислении и теории гипермножеств любой элемент играет роль и операнда, и операнда (функции и аргумента).

## 5. Бутстрап в экологии и теории эволюции

В эволюционирующих биологических системах склонность к эволюционным изменениям ("evolvability") подвергается эволюционному отбору, так как варианты эволюционных линий с большей эволюционной «чувствительностью» будут почти всегда линиями, в которых появляются новые полезные адаптивные признаки. Эти признаки, в свою очередь, увеличивают «эволюционную податливость». В каждой новой генерации происходит переход к новому раунду увеличения и сохранения эво-

люционной чувствительности и так далее. Такой процесс в англоязычной научной литературе также часто называется *бутстрапированием* [6]. В терминах адаптивного ландшафта бутстрапирование соответствует популяциям, эволюционирующим таким образом, что они оккупируют области ландшафта, которые более подвержены эволюционному восхождению на холмы.

Экологические взаимодействия между биологическими организмами могут быть как прямые, так и опосредованные через среду и при этом иметь знаковую природу. Так, например, хотя муравьи не имеют зрения, они успешно находят самый оптимальный путь до источника пищи в процессе коллективного поиска и обмена знаками, оставленными на местности. Выделяя ферменты в процессе перемещения, муравьи фактически обеспечивают коммуникацию. У общественных насекомых такая средовая коммуникация может приводить к процессам самоорганизации, как, например, при строительстве термитников. Биолог Грассе даже ввел для этого случая специальный термин – «стигмергия» то есть «стимулирующий работу». Фактически, это уже область все еще формирующейся науки *биосемиотики*, основу которой заложил своими пионерскими работами фон Икскюль, немецкий зоолог, еще в начале двадцатого века [7]. Здесь уместно говорить, пользуясь терминологией данного автора, о создании и преобразовании организмом своего «умвельта» (Umwelt), субъективной операциональной знаковой модели окружающей среды, используемой для выполнения различных задач, направленных на выживание. Организмы совместно конструируют *семиосферу* (понятие, введенное Ю. Лотманом) – общее семиотическое пространство, множество взаимодействующих умвельтов.

Другое направление, тесно связанное со стигмергией, так называемая *концепция конструирования ниш*, или экологическое наследование как один из механизмов расширенного понимания наследования признаков. В традиционной трактовке эволюция сводится к взаимодействию генов и среды. Но организмы – не пассивные существа, они вырабатывают стратегии конструирования онтогенетических ниш с целью управления процессом развития потомков [8].

Взаимодействие через среду может носить не только краткосрочный, функциональный характер как в случае построения ульев у пчел или термитных домиков, но и исторический, глобальный, планетарный характер. Биота своей активностью постепенно меняет характеристики ландшафтов, биогеоценозов и всей биосферы, включая глобальный климат, и эта среда обратно влияет на эволюцию организмов и экологических систем.

Надо сказать, что даже сама репликация, размножение существенно меняет окружающую среду организма, конструируя надорганизменные структуры – популяции,

сообщества, стада. В сочетании с материально-знаковыми процессами типа стигмергия, запускается храповик эволюционного усложнения сразу на разных уровнях – организм, сообщество, биоценоз и среда в целом.

В целом, создается впечатление, что биологическая (и культурная – см. ниже) эволюция чем-то напоминает непрерывную, все усложняющуюся рекурсию или самораскручивающийся бутстрап-процесс, включающий в себя как материальные, так и знаковые процессы, материально-знаковую герменевтическую спираль [9, 10]. В автономных системах бутстрап – творческий, обобщенный метаболизм, сохраняющий и совершенствующий автономию в динамическом процессе коэволюции с объектами окружающей среды (структурное сопряжение), с которыми он холистски взаимодействует посредством возмущения границы, отделяющей от среды. Эволюционирующая путем репликации система – это своего рода топологически вывернутый наизнанку автопоэзис. Эволюция и автопоэзис – дуальная пара, необходимое условие творческой эволюции. Представляется, что настало время объединить интерналистскую и экстерналистскую парадигмы эволюции и развития – концепцию биологической автономии и терию эволюции путем репликации с учетом биосемиотических процессов в окружающей среде.

## 6. Биосферный бутстрап

В предыдущих работах [9, 10] критически анализировались различные подходы к системному представлению биосферы. Сделан вывод, что все еще популярный взгляд на биосферу, как на классическую автопоэтическую систему, не оправдан и в принципе не конструктивен. Тем не менее, биосферу можно отнести к классу особых бутстрап-систем. Компоненты биоты явно демонстрируют неклассические свойства коллективного взаимодействия, взаимопорождения и эмерджентность. С осторожностью можно обсуждать гипотезу о самоподобии и фрактальности в динамике и эволюции биосферы и, возможно, о самоорганизующейся критичности. Автор предложил рабочую гипотезу, согласно которой многоуровневая организация биосферы напоминает русскую матрешку с чередованием более или менее организационно замкнутых «жестких» автономных организмо-подобных систем автопоэтического типа и так называемых «симпоэтических», организационно открытых систем типа популяций, сообществ. В рамках такой слоистой структуры возможен эволюционный творческий поиск и одновременно согласование интересов участников биосферного процесса, и возникновение симбиоза планетарного масштаба.

Развивая теорию рефлексивного автопоэзиса, Кент Палмер [11] построил целую классификацию самоорганизующихся, в частности, автопоэтических систем. По

этой классификации, биосфера Гея Джеймса Лавлока относится к классу так называемых «холонов» (термин, введенный Артуром Кестлером) или, как он их называет, «специальных эмерджентных автопоэтических систем», для которых «целое точно равно сумме их частей» (следует предостеречь от банального классического системного понимания этого тезиса). По мнению Палмера, это весьма редкие в космосе аномалии. Фактически, это среда с особыми, парадоксальными свойствами, это – своего рода «метасистема». Обычные системы как бы вмонтированы в нее наподобие «дырок» в кристалле. В таких метасистемах устанавливаются особые отношения «взаимопроникновения» частей. Палмер пытается построить аппарат анализа подобных систем, используя индийскую Ваджра – логику на метасистемном уровне и алгебру гиперкомплексных чисел (как и Гёрцель, но с иной позиции). Интересно, что он также пользуется топологическим образом гипербутылки Клейна, заимствуя эту идею у Стивена Розена.

В своем научно-популярном бестселлере «Исследования» (англ. "Investigations") Стюарт Кауфман [12] из Кремниевой Долины Санта Фе вводит понятие эволюционного автономного агента особого типа. Он значительно более активен, нежели неodarвинистский социобиологический "мем" Докинза и способен к выбору. Этот агент способен также к самовоспроизводству и выполнению рабочих циклов, что Кауфман интерпретирует как канализированные потоки энергии. Автономный агент эволюционирует в направлении повышения эффективности этих двух функций. Такими автономными объектами являются живые организмы и некоторые физические системы, способные повышать свою организацию. Автономные агенты заняты манипулированием объектами окружающего мира с целью максимизации своего разнообразия и таким образом совместно конструируют биосферу. Кауфман даже предлагает «4-ый закон термодинамики»: «Средняя тенденция развития Космоса и биосферы такова. Космос и биосфера создают новое разнообразие так быстро, как только могут это делать, не разрушая при этом уже созданной, наработанной распространяющейся организации, которая является базисом и звеном, в котором затем открывается дальнейшая новизна, встраивающаяся в эту распространяющуюся организацию» [12, р. 85].

### 7. Информационный (ноосферный) бутстрап

Как уже отмечалось в разделе 5, глобальные (биосферные) и экологические процессы нельзя свести только к материальным процессам в рамках чисто операционального подхода. Знаковые, семиотические процессы в природе имеют огромное значение. Творцы автопоэзиса У. Матурана и Ф. Варела противопоставили свою концепцию бихевиоризму, когнитивизму,

репрезентационизму и вне-контекстному пониманию информации, как универсального товара, тому, что они называли «метафорой трубы». В результате они сделали чрезмерный акцент на внутреннем аспекте информационного процесса в рамках радикального конструктивизма. К тому же, в соответствии с моделью автопоэзиса, они пытались произвести их редукцию к чисто материальной причине – сохранению автопоэтической организации, что удалось им лишь отчасти. Ф. Варела, видимо, осознавал ограниченность такого подхода и предложил концепцию инактивизма или воплощенного действия [13]. Через год после его кончины вышла статья (совместно с Андреасом Вебером), где предпринята попытка связать автопоэзис и биосемиотическую парадигму, используя концепцию инактивизма. В связи с этим особенно актуальными становятся идеи Грегори Бейтсона. По Бейтсону мышление – это воплощенное мысле-действие, разумное поведение в среде, это процесс коллективного соучастия в действе, направленный на выживание в широком смысле слова. В отличие от замкнутой самопродуцирующейся организации, сам процесс мышления – это не локальный процесс в мозгу (известная метафора «чан с мозгами»), или процесс, имманентный телу, а контур отношений соучастия в коллективном действе в среде [14]. Процесс мышления необходим для выживания организации, которая организует эти контуры. При этом Бейтсон уточняет, что информация состоит из эффективных, то есть воспринимаемых системой, актуальных для нее различий, это различие, порождающее каскад различий в среде. Акт различения – это квант «мысле-действия» живой системы, базовая функция наблюдателя, поэтому мыслительный многоконтурный процесс можно свести к замкнутым Бейтсоновским циклам трансформ различений, превращений одних различений в другие. В каком-то смысле жизнь – это различие, порождающее замкнутый контур различий. Здесь явно звучит обобщенно – семиотический, знаковый и одновременно герменевтический аспект живого: **“Ментальный мир – разум, мир обработки информации – не ограничивается кожей...”** “...Индивидуальный разум имманентен, но не только телу, а также контурам и сообщениям вне тела. Также есть больший Разум, в котором индивидуальный разум – только подсистема. Этот больший разум можно сравнить с Богом, и он, возможно, и есть то, что некоторые люди понимают под “Богом”, однако он по-прежнему имманентен совокупной взаимосвязанной системе, включающей социальную систему и планетарную экологию”. (Г. Бейтсон. «Форма, вещество и различие», 1970 г.)

В настоящее время активно разрабатывается концепция эволюционирующей интегральной экологии разума [15]. При этом разум рассматривается как ин-

тегративное целое, охватывающее биологические, психологические и социологические процессы, происходящие одновременно в разных пространственных и временных масштабах и на разных уровнях организации. Можно трактовать такую систему как когнитивную. Это так называемая *гипотеза расширенного разума*. Согласно этой гипотезе, разум включает в себя не только когнитивные процессы, происходящие внутри самого организма, но и выходит за границы организма и индивидуальных организмов. В определенном смысле, концепция расширенного разума показывает ограниченность подхода, основанного на биологической автономии (см. выше), когда только сама биологическая система считается когнитивной. Более того, гипотеза расширенного разума перекликается с концепцией орудийности М. Хайдеггера, когда орудие, «подручное бытие» и мастер бессознательно сливаются в единое целое и включаются в глобальные процессы порождения смысла. В настоящее время предпринимаются попытки распространить концепцию орудийности из сферы культуры в область биологии и на базе этого разработать новую парадигму «нео-хайдеггерианского невербального искусственного интеллекта» [16].

Без сомнения, биосферу бессмысленно отделять от человека, информационная составляющая существования которого огромна. Собственно, с появлением человека биосфера стала иной, как ее ни назови – ноосфера или гомосфера. Вот только человек не сможет выжить на Земле, не руководствуясь принципом ответственности перед своим биологическим базисом.

В информационном поле философия бутстрапа не менее естественна, чем в материальном. Так, Хейлигхен, соратник Валентина Турчина по проекту *Principia Cybernetica*, с середины девяностых разрабатывает в духе кибернетики второго порядка «бутстрапирующее» представление знаний в виде обучающихся сетей для того, чтобы превратить Интернет в настоящий распределенный интеллект [17, 18]. Работа осуществляется в рамках международного проекта «Brain Web». Человечество в целом, по мнению Хейлигхена, является автопоэтической системой. Эволюция человечества идет в направлении глобализации. Поскольку существует разделение труда, то главный механизм эволюции в сообществе будет не групповая селекция, не индивидуальная селекция, а то, что можно назвать бутстрапированием или сетевой селекцией (*network selection*), эволюция самоорганизующейся корпоративной сети. При этом происходит селекция организаций, достигающих одной стороны, определенной организационной замкнутости и в тоже время коммуникативности. В связи с развитием средств коммуникации в Интернете характер экономической и культурной эволюции переходит на новый качественный уровень. По мнению

инициаторов проекта, Интернет быстро превращается в коллективный разум и волю человечества.

## 8. Заключение

Настоящее время явно характеризуется новой смелой парадигмой в науке о сложных системах. В связи с активным освоением процессов самоорганизации в сложных системах требуется исследовательский инструментарий нового типа. На передний план исследований выходят процессы, демонстрирующие не только нелинейность, но и автореферентность, самоконструирование, самовосстановление, самомодификацию и рефлексивность. Все эти свойства связаны с целым спектром многоуровневых рекурсивных по своему характеру материально-знаковых эволюционных процессов в окружающей среде и самом организме. При этом биологическая, биосферная и социальная эволюции явно демонстрируют тенденцию к росту **связанности или голономизации**, когда информация обо всем мире в явном или неявном (нераскрытом) виде все в большей степени становится доступной отдельному организму, участнику биосферного симбиоза, гражданину мира. Для раскрытия сути этого совместного бытия («Mit-Sein» по М. Хайдеггеру) необходимо развивать подходы к исследованию подобных систем.

Благодаря блестящим достижениям синергетики, теории диссипативных структур и теории самоорганизующейся критичности удалось выявить новые механизмы и сложную динамику взаимосвязи частей и целого. Фрактальная (дробная) размерность меняет представления о границах систем. Тем не менее, становится очевидным, что многие явления не укладываются в схему механистической, пусть и нелинейной парадигмы. Уже самовосстанавливающиеся, самопроизводящиеся, самомодифицирующиеся и эволюционирующие системы демонстрируют парадоксальные свойства и неадекватно описываются математическими структурами, базирующимися на классической теории множеств. Использование гипермножеств, языка теории категорий и нестандартных логических исчислений типа лямбда-исчисления позволяет перейти к реальной формализации бутстрап-процессов типа автопоэзиса. Правда, свойства живых и социальных систем не сводятся к автопоэзису и подобным моделям обобщенного метаболизма. Размножение (репликация) не является производной метаболизма, как ранее предполагали создатели автопоэзиса, а является изначально важным аспектом жизни и должно быть органически вписано в будущую формальную модель. Кроме того, информационная, знаковая составляющая также должна изначально включаться в определение бутстрап-процессов.

Становится очевидным, что бутстрап – системы, то есть системы, способные к спонтанному саморазвитию,

могут существовать только в особой глобальной среде – метасистеме, которую сами эти системы коллективным образом конструируют в процессе размножения, захвата пространства и активной жизнедеятельности. Так, эволюционному скачку развития бутстрап-систем как правило, предшествует изменение глобальной среды, чаще всего спровоцированное их совместной активностью. Вообще, метасистема как среда биологических и других сложных саморазвивающихся систем в последнее время стала объектом пристального внимания и переосмысления в различных областях. Система и метасистема образуют диалектически связанную дуальную пару. Метасистема – это особая, творческая среда со своими свойствами и законами. Комплексы систем – метасистема – отдаленно напоминают физические гетероструктуры в кристаллах.

По мнению автора, сложный ассиметричный механизм взаимодействия системы и среды, понимаемой как метасистема, ухватывает суть поведения многих сложных систем в биологии, физике, социологии, кибернетике и может дать имя целой объединяющей системной концепции. Развитая концепция бутстрапа, реализуемого через *голономию* и *самоомодификацию / взаимную модификацию* систем путем прямого воздействия и непрямого, опосредованного, через среду поможет с единой позиции рассматривать такие подходы к анализу сложных явлений, как синергетика, теория самоорганизующейся критичности, автопоэзис, киберсемиотика, и переосмыслить понятие автономии.

Важно отметить, что реальный бутстрап, то есть эмерджентное развитие сложных систем – это на самом деле совместный, *коллективный бутстрап*. Вне сложной метасистемы развитие никакой системы невозможно. Поэтому любая автономия относительна и во многих аспектах открыта, глубинно связана с окружающим миром, с космосом, которые эти автономии совместно творят. Создание особой творческой среды является эмерджентным, самоорганизующимся процессом, который не подвластен искусственным приемам дизайна, созданию извне.

В связи с ростом интереса к изучению и использованию бутстрап-процессов в самых различных областях человеческой деятельности встает проблема их формализации, определения классификации и детального анализа.

### Библиография

1. *Nomura, T.* (1997) An Attempt for Description of Quasi-Autopoietic Systems Using Metabolism – Repair Systems. In Proc. Fourth European Conference on Artificial Life (ECAL'97), P. Husbands and I. Harvey, Eds., MIT Press, pp. 48–56. <http://citeseer.ist.psu.edu/nomura97attempt.html>.
2. *Kampis, G.* Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science. Pergamon Press, 1991. 565 pp.
3. *Fontana, W., Buss, L.* The arrival of the fittest: Toward a theory of biological organization. -Bull. Math. Biol., 1994, 56, pp. 1–64.
4. *Goertzel, Ben.* From Complexity to Creativity. Computational Models of Evolutionary, Autopoietic and Cognitive Dynamics. New York, Plenum Press, 1996.
5. *Aczel, P.* Non-well-founded Sets. Stanford: CSLI, 1988.
6. *Conrad, M.* Bootstrapping on the adaptive landscape. Bio-systems, v. 11, 1979, pp. 167–182.
7. *Uexkull Jakob von.* Theoretische Biologie // Berlin: Springer, 1928.
8. *Odling-Smee, J.J., Laland, K.N. and Feldman, M.W.* Niche Construction: The Neglected Process in Evolution. New Jersey: Princeton University Press, 2003.
9. *Казанский А.Б.* Эволюция биосферы: самораскрытие через самосозидание. Экогеософский альманах «Мудрость Дома Земля»: о мировоззрении XXI века». Экогеософский альманах. / Составитель и редактор В.А. Зубаков. – Санкт-Петербург-Донецк: Донецкий Национальный Технический Университет, 2003, вып. 4–5, с. 182–204. <http://akazansky.by.ru>.
10. *Казанский А.Б.* Формализация событийности: бутстрап-системы в биологии, биосферологии, кибернетике и физике. Экогеософский альманах «Мудрость Дома Земля»: о мировоззрении XXI века». (Российско-украинское издание, коллективная монография под редакцией С.Г. Джуры, В.А. Янкиной и А.Б. Казанского). Санкт-Петербург – Донецк, изд. Донецкого Национального Технического университета, 2007, с. 107–127. <http://akazansky.by.ru>.
11. *Palmer, K.* Vajra Logic and Mathematical Meta-models for Meta-systems Engineering: on the Foundation of Holonomic Metasystems Theory and Engineering. Copyright 2001 K.D. Palmer. All Rights reserved. Version 0.01; 11/20/01; v101a01. doc <http://dialog.net:85/homepage/resume.html>.
12. *Kauffman, S.* Investigations. New York: Oxford University Press, 2000, 287 pp.
13. *Varela F., E. Thompson and E. Rosch.* The Embodied Mind: Cognitive science and human experience. Mit Press, Cambridge, 1991.
14. *Бейтсон, Г.* Экология разума. Избранные статьи по антропологии, психиатрии и эпистемологии. М.: Смысл, 2000. 476 с.
15. *Lucas, C.* Evolving an Integral Ecology of Mind. In: Special issue "Consciousness, Mind and Brain" of CORTEX journal: V. 41, October 2005, No.5, pp. 709–726.
16. *Wheeler M.* Reconstructing the Cognitive World: the Next Step. -The Mit Press, 2005. 356 с.
17. *Heylighen, F. & Bollen J.* The World-Wide Web as a Super – Brain: from metafor to model, in: Cybernetics and Systems 96, R. Trappl (ed.), (Austrian Society for Cybernetics, 1996, p. 917–922.
18. *Heylighen, F.* Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning webs. International Journal of Human-Computer Studies, 1997.