



УДК 573.22

## Принцип эмерджентности в экологии

**КОРОСОВ**

**Андрей Викторович**

Петрозаводский государственный университет,  
[korosov@psu.karelia.ru](mailto:korosov@psu.karelia.ru)

### Ключевые слова:

системная экология  
системный подход  
эмерджентность  
моделирование

### Аннотация:

Эмерджентными свойствами обычно считают немногочисленные особенные качества объектов, резко отличающие сами объекты от слагающих их частей. Логический анализ показывает ограниченность этой точки зрения, связанной с приданием понятию «система» онтологического содержания. С методологической точки зрения все качества объектов природы оказываются эмерджентными и число их бесконечно. Эмерджентность оказывается характеристикой исследователя, который подробно рассматривает лишь некоторые свойства вещей, привлекая его внимание. Принцип эмерджентности — это логический метод исследования ярких «системных качеств» с опорой на знание о свойствах и связях между элементами системы; между системой и объектами ее среды. Ключевым моментом является поиск неких «зачаточных» свойств компонентов системы, которые при взаимодействии между этими компонентами существенно усиливают степень своего проявления и становятся эмерджентными «системными» свойствами.

© 2012 Петрозаводский государственный университет

Получена: 20 октября 2012 года

Опубликована: 22 ноября 2013 года

### Введение

Принцип эмерджентности (англ. emergent – внезапно возникающий, от лат. emerge — появляюсь, возникаю) имеет множество формулировок, а сам термин – разнообразные синонимы (принцип эмерджентности, эмергенции, синергии, упорядоченной целостности, закон образования системного качества, системный переход). В биологической литературе термин «эмерджентность» ассоциируется с понятиями «порядок», «самоорганизация», «организм», «становление», «возникновение» («эмерджентная эволюция»). С помощью этого понятия стараются отобразить некие особенные свойства объектов («систем»), которые отсутствуют у более простых элементов, слагающих эти объекты; свойства эти уникальны и достаточно редки. Принцип эмерджентности иногда используется для построения здания теоретической экологии (Одум, 1986; Реймерс, 1994; Краснощеков, Розенберг, 2002; Розенберг, Рянский, 2005); изредка привлекается для построений системной экологии (Телеманов, 2010). К сожалению, это системное понятие не используется в явном виде при проведении количественных биолого-экологических исследований – ни в одном источнике по приемам моделирования нельзя встретить понятия «эмерджентность» или «целостность» в качестве приемов построения моделей. Методологическое содержание этого термина во многом остается невостребованным. Между тем, очевидным достижением системной методологии является именно разработка проблемы целостности, одним из аспектов которой является эмерджентность. «Системный подход... В отчетливой форме он сформулирован в новой методологической установке, что целое (система) не только не детерминируется однозначно совокупностью его элементов или их групп и не сводится к ним, но, напротив, последние детерминируются целым и лишь в его рамках получают свое

функциональное объяснение и оправдание» (Ракитов, 1977, с. 54). Методологический смысл идеи целостности состоит в том, что, изучая любые природные объекты, мы можем предполагать модификацию свойств частей (именуемых элементами), образующих этот «целостный» объект (именуемый системой). При этом говорят о двух проявлениях целостности – внешнем (эмерджентность) и внутрисистемном (интегративность, целостность). Сложившаяся практика неиспользования этого понятия объясняется, с одной стороны, его сложностью. Интригуя своей эффектностью, идея эмерджентности целиком передается в область интуиции, которая громоздит множество ненужных атрибутов этого явления. Технология же моделирования требует прозрачности своих логических основ, поэтому многие ценные, но неадекватно поданные системные идеи отвергаются «биомодельерами» с порога. С другой стороны, обычная интерпретация принципа эмерджентности носит онтологический (опредмеченный) характер, а тем самым приводит к противоречиям и лишает данный принцип мышления методологического смысла. Свою задачу мы видели в том, чтобы рассмотреть практику использования этого системного понятия в биолого-экологической науке, максимально прояснить интерпретацию системных принципов мышления, выявить ее назревшие противоречия и предложить схему (технологию) применения принципа эмерджентности в экологических исследованиях (в том числе при моделировании). В дальнейшем изложении используем «метод от противного»: последовательно, в критическом ключе рассмотрим широко распространенные утверждения, противоречащие пониманию принципа эмерджентности как методологической установки.

## **Аналитический обзор**

### **«Эмерджентные свойства присущи настоящим системам, но не нагромождениям»**

Базой для подобных утверждений служит узкое, предметное (онтологическое) понимание термина «система». «Система – это нечто такое, что в результате взаимодействия своих частей поддерживает свое существование и функционирует как целое. ...Системы функционируют как целое, а это значит, что у них есть свойства, отличающиеся от свойств составляющих их частей... Они возникают, когда система работает» (О'Коннор, Макдермотт, 2006, с. 20, 31). Так формируется представление о том, что целостность присуща только динамической, «функционирующей», живой системе, ярким примером которой является организм (обычно человека). Почти всегда подобные дефиниции несут содержание, навеянное теми объектами, которые исследуют сами авторы. Так, если определение «технической системы» (технического объекта) звучит ясно и однозначно: «Техническая система – это совокупность упорядоченно взаимодействующих элементов, обладающих свойством, не сводящимся к свойствам отдельных элементов, и предназначенная для выполнения определенных полезных функций» (Саламатов, 1991, с. 38), то отсюда вовсе не следует вывод о том, что объекты, этим свойством не обладающие, нельзя считать системами. Ранее мы показали (Коросов, 2008), что подразделения природных тел и явлений на «системы» и «несистемы» в явной форме игнорируют основы логики системного подхода. Любой объект природы можно признать «системой» и исследовать (в том числе с помощью моделирования) его разнообразные целостные и эмерджентные свойства. Кроме того, само понятие «динамические» в устах биолога слишком антропоморфно (витаморфно), привязано к скорости физиологических процессов (человека). Геолог же в контексте процессов протяженностью в миллионы лет может воспринимать «мертвый» булыжник не менее динамичным, чем биолог – молекулу фермента в клетке. Эмерджентные качества можно обнаружить у любых объектов, в том числе и неживых, «нединамичных»: статичные строения (дворцы, мосты, склады), имеющие различные формы, предназначение и эстетическую ценность, по своим свойствам не равны гряде кирпичей, из которых созданы.

Помимо динамичности, многие авторы проводят разделение «систем» и «несистем» по другим основаниям. «Набор не связанных между собой частей не образует системы. Это просто беспорядочное нагромождение» (О'Коннор, Макдермотт, 2006, с. 28). К сожалению, авторы не приводят конкретных примеров «нагромождений» по той, видимо, причине, что слишком очевидны будут их противоречия, опровергающие подобное разделение. В цитированной работе через несколько страниц текста в список явных эмерджентных свойств авторы включают температуру и давление (Там же, с. 33) – характеристики типичного «нагромождения» молекул газа, тепловое движение и упругость которых и создает эти свойства. Мы решили дополнить авторскую таблицу примерами эмерджентных свойств тех

объектов, которые были отнесены в ней к «нагромождениям», чтобы искусственность принятого деления стала очевидной (табл.).

Таблица. Примеры эмерджентности «нагромождений»

| <i>Из кн.: О'Коннер, Макдермотт, 2006, с. 28</i>                                                                                                                         |                                                                                                                         | <i>Наши примеры эмерджентности «нагромождений»</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Система</i>                                                                                                                                                           | <i>Нагромождение</i>                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Изменяется, если что-либо убрать или добавить. Разделив систему надвое, вы получите не две меньшие системы, а поврежденную и, вероятнее всего, нефункционирующую систему | Основные свойства не изменятся, если что-либо добавить или убрать. Разделив надвое, получите два нагромождения поменьше | Груды космического материала по мере увеличения своей массы и размеров под действием гравитации приобретают округлую форму (для льда – при радиусе 500 км). Получается, что <i>свойства этого «нагромождения» меняются при простом росте массы</i>                                                                                     |
| Компоновка, взаимное расположение частей имеет решающее значение                                                                                                         | Расположение частей не имеет значения                                                                                   | Хаотическое тепловое движение молекул газа придает отдельным его объемам свойства «давление» и «температура», а большим объемам – конвекции, ветра, диффузии и пр. Следовательно, <i>эмерджентия появляется и у бесструктурных «систем»</i>                                                                                            |
| Их поведение зависит от структуры. При изменении структуры меняется поведение                                                                                            | Их поведение (если оно есть) зависит от размера или от числа предметов, составляющих нагромождение                      | Шарик капли формируется силами поверхностного натяжения, округлая форма «жидких» звезд – действием гравитации. <i>«Простое» различие в размерах (а не в структуре) хаотических систем формирует разные эмерджентные свойства</i>                                                                                                       |
| Взаимосвязанные части функционируют как целое. Части работают вместе и не могут функционировать отдельно                                                                 | Совокупность разрозненных частей. Части не связаны между собой                                                          | Между «функциональными связями» и «отсутствием связей» лежит множество не отмеченных авторами типов связи, например, статические. Груды «нагроможденных» камней, связанных силами земной гравитации и трения, формируют в своих недрах микроклимат, служащий одним из главных факторов выживания мелких позвоночных животных (Карелии) |

Как было показано нами ранее, методологическое содержание и работоспособность системного подхода сохраняется только в том случае, если в определение системы не вкладывать онтологический смысл. Система – это мысль об объекте природы и деление вещей на «системы» и «несистемы», или «нагромождения», совершенно ненаучно. Мысль об «истинных системах», объектах, «цельных от природы», высказывалась еще Аристотелем. «Целым называется то, у чего не отсутствует ни одна из тех частей, состоя из которых, оно именуется целым от природы» (Аристотель, 1975, с. 174). При этом под «природой» объекта понимается его «идея»: «Ведь недостаточно знать, из чего состоит часть... мы попытаемся скорее определить его форму, чем материю... надо будет сказать и о его внешнем виде и каково оно по идее, ибо природы формы имеет большую силу, чем природа материи» (Аристотель, 1937, с. 37–38). Подобные теории в биологии называются витализмом и отвергнуты наукой более 150 лет назад. И тем не менее многие авторы возвращаются к бесплодной мысли «цельного от природы». «Сам факт выделения части в целом полностью зависит от изобретательности приема выделения... в этом смысле выделение частей в целом есть акт произвола» (Преображенский, 1991, с. 71). Автор совершенно прав, если он имеет в виду первичное описание предмета. Однако научное познание никогда не заканчивается на первом шаге. Если декомпозиция системы была произвольной, тогда модель (теоретическая или количественная), построенная на этой понятийной базе, скорее всего не будет адекватна действительности. Последует второе, третье и т. д. выделение частей в целом, синтез новой модели, оценка ее адекватности. Когда решение проблемы сохраняет актуальность, то рано или поздно будет достигнута структурная и феноменологическая адекватность модели, но в этом случае уже бессмысленно говорить о произвольности полученного деления системы на части – критерием декомпозиции и дефиниции стала практика.

Еще один фиктивный критерий «истинной системы» – ее «зрелость». «Именно в становлении

заключается тайна целостности. Как правило, исследуются уже «ставшие» системы...» (Аверьянов, 1985, с. 184). Однако для установления зрелости системы нужны свои критерии, требуется самостоятельное научное исследование, выводы которого могут отличаться у разных авторов. Если принять на вооружение рекомендации автора исследовать «ставшие системы», есть опасение, что приступить к собственно изучению систем никогда не удастся. Кроме того, «созревание» присуще только динамическим, даже – только развивающимся объектам, так что этот критерий систем удаляет из поля зрения подавляющее большинство явлений и, естественно, не может являться методологическим принципом.

Логика требует заключить, что в силу универсальности системных принципов (все объекты можно рассматривать как системы), эмерджентные качества присущи любому объекту, в том числе и неживому. Эмерджентность свойственна как «системам с управлением», так и «упорядоченным» и просто «хаотическим системам». «Система — это совокупность элементов, которые принадлежат ограниченной части реального мира, являющейся объектом исследования. Поэтому система – понятие относительное» (Ракитов, 1971, с. 68). В подтверждение этой мысли рассмотрим серию примеров проявления эмерджентных качеств у объектов самого разного вида. «...Средний арабский солдат... не хуже среднего французского; ...войско из 10 тысяч французов разбивает армию туземцев в 30–40 тысяч человек» (Богданов, 1990, с. 432). Морфологически консервативные особи живут недолго и занимают определенную точку в пространстве; однако их способность размножаться обеспечивает популяции бесконечную жизнь, непрерывный ареал и возможность эволюционных изменений. Совокупность несжимаемых, непрозрачных,двигающихся и сталкивающихся молекул воздуха совместно создают давление, рассеивают свет, формируют конвективные потоки, течения и ветры. Параллелепипед кирпича в кладке образует здания, мосты, дворцы – то, где можно жить, что можно разрушить и чем можно любоваться. Эмерджентными качествами обладают и различные математические эмпирические построения. Статистические методы выполняют роль правил агрегации единичных фактов (чисел) в форму обобщенного описания (параметра, коэффициента: средняя, дисперсия, ковариация, и т. п.). Эмерджентность статистического параметра состоит в том, что он характеризует не отдельное явление, но общую причину, стоящую за всеми частными явлениями, учитывают фактор стабильности общих параметров. Статистическое исследование обнаруживает закономерность, постоянство, повторяемость, устойчивость параметров выборки, т. е. те качества, что отсутствуют у отдельных вариантов статистической совокупности (Ивантер, Коросов, 2003). Еще более выражены эти свойства в регрессионном анализе. «На основании всех данных о плодовитости взрослых особей *D. magna*... в... естественных популяциях в пределах ареала на территории СССР рассмотрена общая зависимость  $E = 0,512 \times L^{3,24}$ , где  $E$  – абсолютная плодовитость самки; ...  $L$  – длина самки» (Галковский, Сущенко, 1978, с. 40). Эмерджентное уравнение вскрывает физический смысл изучаемого соотношения: поскольку объем тела животного пропорционален его длине в степени 3 ( $V = L^3$ ), то число развивающихся молодых практически прямо пропорционально объему тела матери. Подобные эмпирические обобщения служат поводом для плодотворных дискуссий. Так, известное соотношение между интенсивностью энергетического обмена наземных позвоночных животных и массой тела ( $P \sim M^{0,67}$ ) позволило обсуждать его физиологическую обусловленность за счет теплопотерь (правило поверхности Рубнера (Шмидт-Ниельсен, 1982)), в связи с географическими особенностями периферических популяций (правило Бергмана (Терентьев, 1952, с. 27)), как следствие смены архитектуры несущих конструкций тела (модель Мак-Магона: (Шмидт-Ниельсен, 1982)), как проявление симморфизма многих физиологических функций рептилий (Дольник, 1999). Малозаметные различия вероятностей проявления события А и не-А ярко проявляются в форме симметричного биномиального и резко асимметричного Пуассонового распределений (Урбах, 1964). Имитационные модели, обеспечивая реконструкцию функционирования биологических прототипов, проявляют свою эмерджентность в способности объяснить феномен. Например, модель выедания гадюками полевых показала, что реальные объемы изъятия жертв на два порядка ниже, чем получаются при прямом сопоставлении численности полевых в разных местообитаниях (Коросов, Фомичев, 2008).

Эмерджентные качества присущи любому объекту (объединению) независимо от природы, композиции, структуры, динамики.

**«Явление эмерджентности состоит в том, что система обретает новые свойства, отсутствующие у ее элементов,**

## **которые при разделении или дроблении системы исчезают»**

Важнейшая тема, звучащая в определениях эмерджентности, – это несводимость свойств системы к свойствам ее элементов. В самой простой трактовке она звучит так: «Разделив систему на компоненты, вы никогда не обнаружите ее существенных свойств» (О'Коннер, Макдермотт, 2006, с. 32); «...Системное качество – появление нового свойства (надсвойства – вектора имеющихся свойств), которого не было ни у одного из элементов до включения в систему» (Саламатов, 1991, с. 58). К сожалению, в этих утверждениях нет никакой системной мысли. Всякий знает, что половина обеда — это совсем не то, что полный обед. Нельзя от фрагмента требовать свойств целого, хотя бы в силу действия законов сохранения (вещества, энергии, импульса). Обратное («появление» нового свойства при объединении частей в «целое») тоже неверно: сумма не равна одному из слагаемых.

При более взвешенном (однако также неверном) подходе говорят о появлении таких свойств целого, которые превышают сумму свойств его частей. Якобы среди системных свойств есть свойства аддитивные (или суммативные, сложенные только из свойств частей), супераддитивные (превышающие сумму свойств частей – собственно эмерджентные) и субаддитивные (меньшие, чем сумма свойств частей, – свойство целостности) (Блауберг, Юдин, 1972). «Свойства системы не сводятся к совокупности свойств частей, из которых она состоит, и не выводятся из них. ...Агрегирование частей в единое целое приводит к появлению новых качеств, не сводящихся к качествам частей в отдельности» (Перегудов, Тарасенко, 1989, с. 361, 292). «Нередко поэтому говорят, что если свойства простых совокупностей аддитивны, т. е. суммируются или складываются из величин частей, то свойства систем как целостных образований неаддитивны» (Рузавин, 2005, с. 203).

Пересказывая на свой лад афоризм Аристотеля («целое больше суммы своих частей»), авторы, видимо, забывают, что это базовое определение в неявной форме содержит вытекающее из философии классика утверждение о руководящей роли «энтелехии» («души») любой вещи, определяющей ее предназначение и форму. «Ибо мясо и кость в возможности еще не имеют собственной природы и не существуют по природе, пока не примут вида соответственно определению, с помощью которого мы и называем это мясом, а это костью» (Аристотель, 1981, с. 84). В этой интерпретации материю мяса до собственно мяса дополняет его «душа» (определяющая форму). Отбросив пережившие свой век идеи витализма, авторам современных системных построений следовало бы более отчетливо указывать, что является заместителем энтелехии, что именно порождает сверхсуммативность целого, каков источник этих, по сути, волшебных свойств целого? В конце концов, разве смысл методологии состоит не в том, чтобы указывать направления движения исследовательской мысли, а не загонять ее в тупик, констатируя чудесный характер явления? Каков же источник этих «новых свойств»?

Появление у системы абсолютно нового свойства явно противоречит законам сохранения. Подход к решению проблемы можно найти в определении целостности по И. И. Шмальгаузену (1982, с. 15): «Нельзя говорить, что целое больше или меньше, чем сумма частей. Мы вообще не имеем суммы, так как свойства частей сняты, а в целом мы имеем новые свойства». Таким образом, свойства частей сняты и перенесены на целое, но в новом качестве, с новой силой выражения. Перенос этих свойств осуществляется при взаимодействии элементов системы, за счет связей между ними. «...Целостность характеризуется новыми качествами и свойствами, не присущими отдельным частям (элементам), но возникающим в результате их взаимодействия в определенной системе связей» (Блауберг, Юдин, 1972, с. 16). «Эмерджентные свойства возникают в результате взаимодействия компонентов...» (Одум, 1986, с. 16). «...Целостность есть результат динамического взаимодействия составных элементов, система представляет собой нечто иное, чем просто сумма ее отдельных компонент» (Саати, Кернс, 1991, с. 21). «Какие бы удивительные свойства ни возникали при объединении элементов в систему, ничего мистического, взявшегося ниоткуда, здесь нет: новые свойства возникают благодаря конкретным связям между конкретными элементами... Новые качества систем определяются в сильной степени характером связей между частями» (Саламатов, 1991, с. 291–293). Обобщая высказывания цитированных авторов, можно сказать, что свойства системных элементов, объединенных в систему, существенно усилены («сняты»!), благодаря взаимодействию между ними (эффективность системы выше эффективности элементов). Любое «новое» системное свойство уже представлено у каких-либо элементов данной системы, но в неразвитом, зачаточном виде. Эмерджентное (качественное) своеобразие объекта проявляется в том случае, если остальные элементы системы работают на усиление этих свойств.

Сущность эмерджентного принципа мышления, с одной стороны, состоит в целенаправленном поиске тех свойств, которые присущи системе, но слабо выражены у ее элементов, с другой стороны, в

поиске тех свойств элементов, которые «усилились» при композиции в систему, но вместе с тем – и в исследовании специфики системной композиции (структуры), позволяющей элементам существенно активизировать свою сущность. Ярким примером использования принципа эмерджентности служит теория вепольного анализа (раздел АРИЗ, алгоритма решения изобретательских задач) (Альтшуллер, 1973), смысл которого и состоит в создании таких новых конструкций из ряда типичных элементов, которые демонстрировали бы новые «системные» качества. В биологической науке приходится действовать обратным порядком: изучение проявления эмерджентного свойства биосистемы должно вестись в направлении поиска его зачатка у системных элементов, только тогда можно понять способ существования и генезис самой биосистемы. В качестве ключевого примера рассмотрим популяционное свойство «жить вечно»: оно основано на таких «зачатках», реализованных в особях, как «жить недолго» и «передавать жизнь новым особям, своим потомкам». Композиция этих свойств (размножение) обеспечивает потенциально бесконечное существование популяции.

В этом контексте важно рассмотреть попытки обосновать или проиллюстрировать проявление эмерджентности «методом от противного» – показать исчезновение эмерджентных качеств после деления или дробления «системы» на части. «Поскольку свойства системы присущи только ей самой, но не ее частям, то стоит разделить ее на части, как эти свойства исчезнут» (О’Коннер, Макдермотт, 2006, с. 35). Авторы приводят пример с телевизором, разделив который на две половинки, мы получим не две половинки изображения, но отсутствие изображения вообще. Конечно, половинка телевизора – это его часть, которая не показывает телевизионные передачи, т. е. явно не обладает эмерджентным качеством «системы» (правда, половинка жидкокристаллического телевизора все же будет показывать свою половинку изображения). Как мы уже разбирали (Коросов, 2009), иерархические подразделения всегда целесообразны, и если задаться целью (даже бессознательно) запутать вопрос, всегда можно разделить систему на такие элементы, у которых явно нет никаких зачатков системных качеств. Однако смысл системного подхода состоит не в том, чтобы остроумными манипуляциями поразить воображение, а в том, чтобы выяснить принципы функционирования исследуемых объектов, предметно и понятно объяснить содержание явления. Для этого следует выполнить рациональную декомпозицию целого. Если нижний уровень иерархии телевизора представить состоящим из кинескопа (способного светиться в потоке электронов), аналогового преобразователя (способного передавать электронным лучам последовательность сигналов) и антенны с усилителем (способным воспринимать радиоволны передач), то «волшебство» эмерджентности пропадет. Взаимодействие частей телевизора приводит к взаимному усилению («востребованности») их свойств – визуализации радиоимпульсов. Для простоты мы не включили в эту систему человеческую способность синтезировать динамическое изображение по серии кадров; для насекомых картинка телевизора останется набором точек, а не фрагментом реальности – эмерджентность телевидения есть порождение человеческой психики. Этот пример показывает следующее. Конечно, делить систему можно на какие угодно части, мысленно хоть бы и распылить на атомы. Однако цель этого деления должна состоять в *выяснении* принципов функционирования объекта. И если первичное деление никак не объясняет нам генезис феномена, его следует отбросить и выполнить новую декомпозицию объекта (принять иную иерархическую организацию, композицию), которая, возможно, приблизит нас к пониманию его работы (существования). Корректной (системной) можно считать только целесообразную декомпозицию объекта исследования, выполненную для прояснения, а не для запутывания вопроса. В этом случае становятся понятны источники «эмерджентных» качеств.

Принцип эмерджентности в том и состоит, чтобы, определив у объекта исследования некие особенные, важные, яркие свойства, выяснить их источник (внешний и внутренний), понять их генезис (а в системном анализе — и предпринять усилия по их изменению в желательную для нас сторону).

Критика идеи «супераддитивности» может быть построена и по-иному. Чтобы утверждать особенность сверхсуммативных свойств, нужно быть уверенным, что у объектов природы есть суммативные свойства. Обычно в качестве таких свойств берут размер, массу и т. п. простые характеристики, которые в физическом отношении могут быть выражены простыми уравнениями  $a = b + c$ . Однако подобные примеры, апеллирующие только к интуиции, могут быть до смешного неудачны. Известно, что сумма масс электронов, протонов и нейтронов больше массы атома с тем же составом лептонов. Другая иллюстрация. Литр воды очевидно равен сумме 500 и 500 мл воды. Однако, смешав 500 мл воды и 500 мл спирта, мы получим не один, а 0.964 л смеси (явление контракции) (Фармацевтические технологии..., 2012).

Продолжая анализировать пример с водой с помощью сознательного (научного, контринтуитивного) подхода к явлениям, можно понять, что интуиция исключила из поля зрения Землю

и емкость, которые консолидируют воду в одном месте за счет притяжения и непроницаемости стеклянных стенок. Изучаемой (взвешиваемой) «системой» становится не литр воды, а емкость с водой в условиях тяготения. С помощью этих дополнительных объектов вода отчетливо организована в единство. И только такой организованный объект обладает свойством «иметь объем» или «иметь массу». Система «литр воды» не существует в реальности, следовательно о ее свойствах (суб- или супераддитивных) нельзя ничего сказать. Рассуждение о массе можно вести только в отношении объектов, обладающих эмерджентным качеством «иметь определяемую массу», которое обеспечено взаимодействием группы элементов. С весом твердых тел еще проще – они «имеют вес» благодаря жесткому соединению частей, обеспечивающих единство формы. Сумма массы бусинок и нитки, конечно, равна общей массе бус, но только если все бусинки скреплены нитью. О значимости взаимодействий между элементами при определении массы и других свойств целого можно поспорить – но лучше с теми, кто именно в булыжнике видел оружие пролетариата, а не в горсти песку, равной ему по массе. Если в свойствах объекта мы видим только суммативность, значит, не видим чего-то главного, не способны понять истоки проявления этой «суммативности».

Эмерджентные свойства – это свойства частей объекта, преобразованные (усиленные, стабилизированные и т. д.) благодаря взаимодействию друг с другом; свойства одних элементов «набирают силу» от своих соседей посредством связей между ними – и становятся системными.

### **«Эмерджентные свойства зависят от структуры (строения, композиции, организации...) системы»**

Человеческая практика свидетельствует о том, что у вещей, которые отличаются по строению и элементарному составу, имеются разные свойства. «При объединении частей в целое возникает нечто качественно новое, такое, чего не было и не могло быть без этого объединения» (Перегудов, Тарасенко, 1989, с. 291). «Когда мы используем информацию для упорядочения множества разрозненных частей, целое будет иметь новое упорядочение, которое превосходит сумму частей» (Саати, Кернс, 1991, с. 84). В поисках источника эмерджентных качеств «систем» используются разные методологии – элементаризм, холизм и системный подход.

#### **Элементаризм**

Прием научного исследования, когда «...целое объясняется на языке свойств частей» (Блауберг, Юдин, 1972, с. 22), с помощью которого (эмерджентное) качество системы стремятся выразить на базе изучения свойств ее элементов, носит название «элементаризм» (физикализм) (рис. 1). Этот прием также часто называют редукционизмом, хотя элементаризм – то лишь одна из форм метода редукции. «Использование редукционизма предполагает попытки познать систему, разделяя ее на части и в деталях исследуя эти части» (Саати, Кернс, 1991, с. 89). «Целое можно изучать, расчленив его (редуцируя) на части, а затем, изучив их свойства, определить свойства целого» (Флейшман, 1982, с. 14). Сама процедура редукции в математике использует «рекуррентный одношаговый принцип», который «...заключается в принятии в качестве постулатов свойств и взаимодействий систем непосредственно нижестоящего уровня и вывода из них в виде теорем свойств систем данного уровня» (Флейшман, 1982, с. 15).

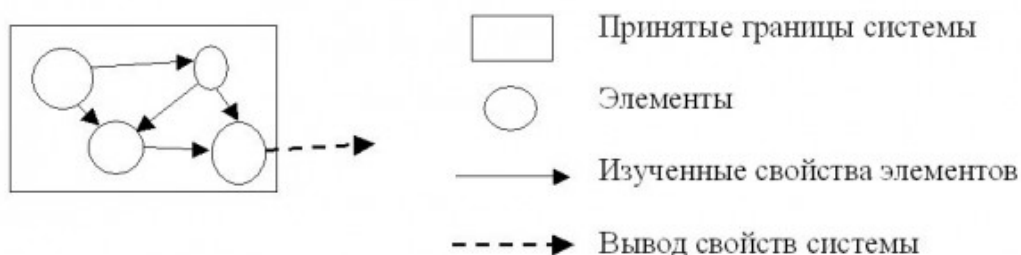


Рис. 1. Блок-схема редукционного описания системы  
 Fig. 1. Block diagram of the pressure reducing system description

Идеализации объектов с помощью редукционизма оказались настолько эффективными в физико-математических науках, что привело к представлению о полном детерминизме природы в форме принципа абсолютного детерминизма. «Состояние Вселенной в данный момент можно рассматривать как результат ее прошлого и как причину ее будущего. Разумное существо, которое в любой момент знало бы все движущие силы природы и взаимное расположение образующих ее существ, могло бы... выразить одним уравнением движение и самых больших тел во вселенной, и мельчайших атомов... Оно могло бы охватить единым взглядом как будущее, так и прошлое» (П. Лаплас; цит. по: Клайн, 1988, с. 266). Оставляя в стороне содержательные физические аспекты проблемы, важно отметить уверенность автора в принципиальной возможности описания всех природных явлений методом редукции. «Характерным для классического понимания систем... было глубокое убеждение в том, что свойства, основные черты, законы функционирования таких объектов однозначно детерминируются свойствами образующих их элементов» (Ракитов, 1977, с. 53).

Опыт показывает, что для многих явлений природы редукционное описание зачастую позволяет прогнозировать эмерджентные качества. Эмерджентная сила уравнения, объединяющего множество отдельных фактов и приобретающего содержание эмпирического закона, состоит в возможности объяснять и предсказывать явления. Некоторые из подобных примеров рассмотрены выше, добавим к ним новые. В книге В. В. Меншуткина (1993) приводится модель вертикального переноса в толще воды потока тепла, поступающего от солнца. «Имитация подъемов (апвеллингов)... представлена в виде... нескольких циркуляций, расположенных в вертикальной плоскости... Интенсивность циркуляций может меняться во времени. При слабой зависимости интенсивности циркуляции... от градиента плотности не наступает резкого отделения эпилимниона от гиполимниона. При усилении снижения интенсивности обмена с ростом вертикальной устойчивости слой скачка (термоклин) становится все более заметным» (Меншуткин, 1993, с. 26, 28, 29). Несмотря на, казалось бы, линейный (сплошной) перенос тепла с поверхности дна в толщу воды, при определенных параметрах процесса обнаруживается его дискретное изменение! Модель описала качественно иное общее состояние системы (распределение тепла в водной толще), чем это сделал отдельный элемент; модель обнаружила внутрисистемный источник упорядоченности. Еще один пример описания новых свойств у совокупности элементов – моделирование динамики численности промыслового стада диких оленей (рис. 2). В обычных условиях при диком выпасе рост численности популяции периодически приводил к перенаселению, подрыву кормовой базы, нарушению репродукции, повышению смертности и в конечном итоге – к резкому снижению поголовья. Привнесение обязательного и строго регламентированного отстрела привело к нетривиальным результатам. «В управляемой популяции... численность стабилизирована на уровне, обеспечивающем получение максимальной продукции популяции без подрыва ресурсов кормов и возникновения автоколебаний» (Иванищев и др., 1989, с. 133).

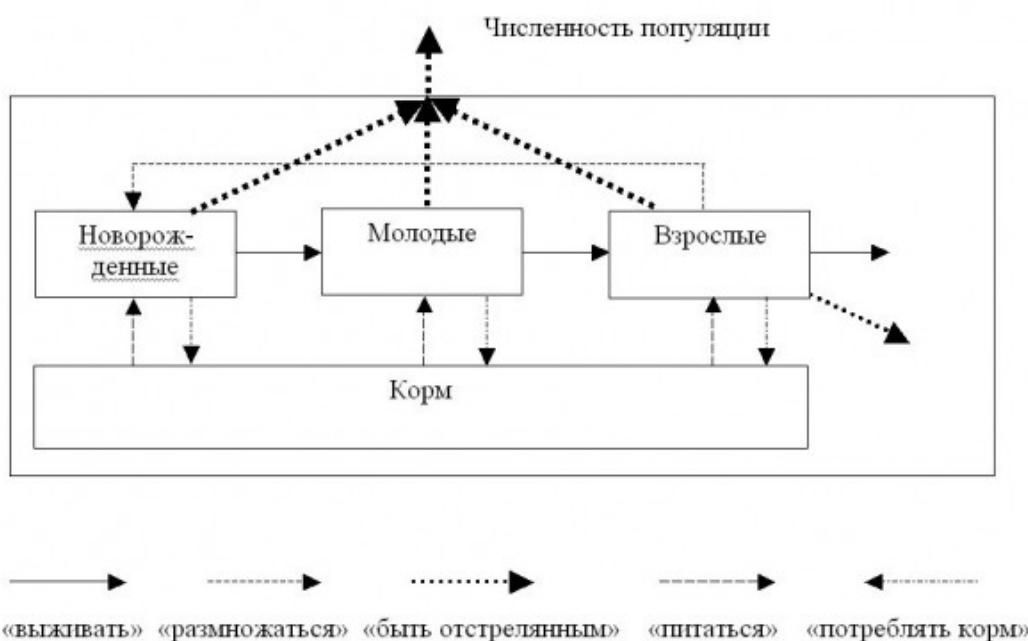




Рис. 2. Блок-схема модели динамики популяции северного оленя  
Fig. 2. Block diagram of the model of population dynamics of reindeer

Описать систему с позиций элементаризма – это значит описать элементы и их свойства, т. е. взаимоотношения между ними. При этом системное эмерджентное свойство не может быть ничем иным, кроме как свойством некоторого элемента (или блока элементов), продленным за границы системы, как бы выведенным из структуры взаимоотношений элементов и ориентированным на элементы внесистемной среды. Носителем системного свойства оказывается один (или несколько) из элементов системы, представляющие систему в ее связях с внешней средой. В примере с оленями описание популяционных процессов (роста, размножения, смертности, отстрела) проводилось с целью выразить общую численность животных.

Важное обстоятельство состоит в том, что редукционное описание зачастую строится на нескольких языках. Для популяции оленей – это язык популяционной биомассы (кг) (питание и уничтожение кормовых запасов) и язык популяционной численности (экз.) (число участников в размножении, число выживших, число отстрелянных). При этом многие элементы оказываются multifunctionalными, играющими разные роли в динамике системы в целом. Например, взрослые особи принимают участие во всех функциях системы.

Характерной чертой этого вида редукции является игнорирование того факта, что в действительности изучаемая «система» демонстрирует свое системное качество, только вступая в отношения с объектом околосистемной среды. Наличие внешнего объекта лишь предполагается, но явно не обозначается, его восприятие передается области интуиции. В приведенной модели популяции оленя один из внешних объектов (человек-промысловик) определен явно, он введен в качестве элемента системы «эксплуатируемая популяция». Однако многие компоненты среды (ареал, запасы питания, уровень численности хищников и т. п.) остаются за рамками рассмотрения модели.

#### Холизм

В практике количественного описания природы широко распространен другой прием научного описания, когда внимание акцентируется главным образом на взаимоотношении между «системой» и ее средой. «Объект объясняется как часть объемлющей его целостности, по отношению к этой целостности... он выступает в качестве элемента» (Блауберг, Юдин, 1972, с. 23). Этот вариант редукции именуется холизмом (если отбросить виталистические идеи собственно холистов). «Холисты пытаются исследовать систему, проверяя ее функции с точки зрения их отношений с окружающей средой» (Саати, Кернс, 1991, с. 89). При холистическом подходе целое рассматривается как неделимая данность, как «черный ящик», имеющий неизвестную внутреннюю структуру. Свойства системы изучаются в процессе выполнения какой-либо внешней функции. При этом подходе свойства изучаемой системы явно соотносят с определенными внешними системами, с которыми она вступает во взаимодействие. Чаще всего в таких описаниях свойства систем выражаются как реакции объекта на действие фактора – другого внешнего объекта (рис. 3).

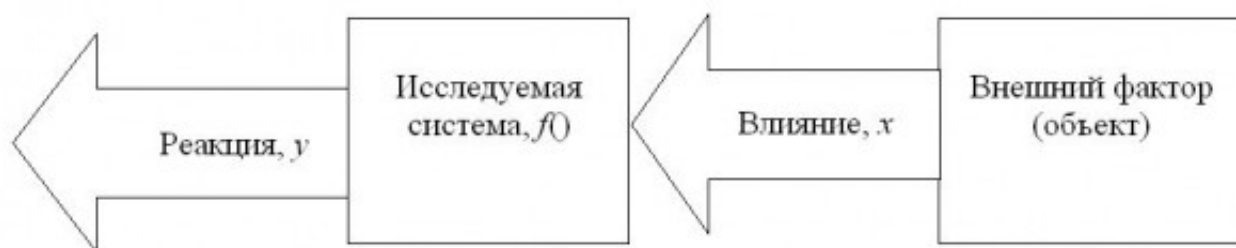


Рис. 3. Блок-схема холистического описания «черный ящик»:  $y = f(x)$   
Fig. 3. Block diagram of holistic description of the «black box»:  $y = f(x)$

Специфика системных свойств объясняется спецификой природы и силы действующего фактора: противодействие эквивалентно действию, сила реакции ( $y$ ) пропорциональна ( $f$ ) силе влияния ( $x$ ). Такое мышление апеллирует к практике исследования физико-химических систем, в которых пропорциональность зависимости «фактор – реакция» сохраняется в пределах широкого диапазона их варьирования. Зачастую это диапазон «антропоморфного оптимума» – для температуры  $-20...+50^{\circ}\text{C}$ ,

размеров от 1 мм до 1 км, периода времени от 1 с до 1 года.

Такая идеология формальной (линейной) логики оказывается полезной и во многих биологических исследованиях. Аллометрические зависимости, приведенные выше, могут служить хорошими примерами: чем больше размеры (масса) тела животного, тем ниже интенсивность метаболизма, меньше плотность митохондрий в тканях (Шмидт-Ниельсен, 1982); чем выше температура среды, тем выше интенсивность обменных процессов в организме экзотермных животных (Калабухов, 1951); чем больше урожай кормов, тем больше жировые запасы медведя, тем раньше он уходит на зимовку (Пажетнов, 1990); чем меньше число зимних дней с ледяной коркой на поверхности земли, тем выше численность полевых летом (Ивантер, 1976) и т. д. (В скобках заметим, что холистическую идеологию явно использует элементаризм. Свойства элементов многокомпонентной системы выражены на языке «черного ящика». Например, в рассмотренной схеме (рис. 2) элемент «молодые олени, которые питаются, превращаются во взрослых или погибают» не декомпозирован.)

### **Системный подход**

Реальный объект в силу своей энергетической или вещественной определенности реагирует на воздействие любых внешних факторов, если они нарушат эту его материально-энергетическую обособленность. Структура объекта является основой специфики его реакции на фактор. Если энергия стороннего фактора будет влиять на энергию реального объекта, то он, безусловно, продемонстрирует какую-нибудь реакцию в ответ. Как именно отреагирует объект, будет зависеть от характера влияния, строения и истории самого объекта. «Все бесконечные формы проявления вещи зафиксированы в самой вещи... как возможность» (Лосев, 1994, с. 349). Свойство – это проявление отношений между объектами, зарегистрированное у одного из них, «...свойство – это свернутое отношение» (Перегудов, Тарасенко, 1989, с. 81). Поскольку окружающих систему объектов (факторов) бесконечно много, то и ее возможных реакций бесконечно много (другое дело, что некоторые из них могут действовать крайне редко). «...Существуют не качества, а только вещи, обладающие качествами, и притом бесконечно многими качествами» (Энгельс, 1987, с. 539). «Одна и та же вещь допускает бесконечное количество модусов своей собственной данности; одна и та же вещь требует или предполагает бесконечное количество своих разнообразных интерпретаций, причем никакой интерпретативный подход не может исчерпать вещь целиком... Вещь и ее интерпретация, вернее же, самое само вещи и его интерпретация – вот основная противоположность мысли и бытия... Самое само есть тайна... Тайна есть то, что по самому существу своему никогда не может быть раскрыто. Но она может являться» (Лосев, 1994, с. 333, 337).

Что касается темы новизны «эмерджентных качеств», нам кажется очевидным, что никакого «появления» «новых» свойств целого нет. Имеет место (часто неожиданное для наблюдателей) явление свойств вещей, вызванное взаимодействием специфически устроенной вещи с объектами окружающего мира. В этом взаимодействии поведение вещи внешне выступает как ее свойства. По-разному устроенные вещи могут иметь одинаковые свойства при сходных взаимоотношениях со средой, равно как и одинаково устроенные вещи «обретают» разные свойства в отличающихся условиях. Эмерджентные черты объектов природы имеют не только внутренний источник, но и внешний – взаимодействие с миром. Разрезанная пополам пластиковая лимонадная бутылка может служить воронкой, эфесом для кисточки, кормушкой для птиц, умывальником и пр.

Нашу предметную аргументацию можно продолжить логической. Системный подход – это методология. Чтобы сохранить логическое содержание своих категорий, он не может предписывать объектам природы тех или иных определенных свойств, то или иное поведение. «...Попытки построения теории систем, основанной на понятии силы... удовлетворяют лишь своих создателей» (Блауберг, Юдин, 1973, с. 30). Утверждение о существовании у определенных систем неких особенных (эмерджентных) качеств – это утверждение фактов (онтология), а не предписание хода исследовательской мысли (методология). Выявлять определенные свойства у объектов природы может только специальная наука, а не методологическая. Например, все утверждения общей теории систем сделаны в отношении определенных математических объектов. Несмотря на то, что это идеальные, а не вещественные объекты, их свойства и отношения между ними специально задаются при формулировании математической проблемы. Обнаруживаемые при этом «эмерджентии» являются следствием предзаданного взаимодействия и характеризуют не «системы вообще», а вполне определенный класс математических объектов. В отношении подобных объектов системный подход может высказываться так же, как и в отношении материальных тел, – все они потенциально имеют бесконечное число свойств. Однако он не может утверждать, что некоторые из них – собенные, эмерджентные. В то же время, системный подход не может отрицать многочисленных фактов проявления эмерджентных свойств реальных объектов, обнаруженных частными науками.

Казалось бы, назревает очевидное противоречие – системный подход не может взять на вооружение факты частных наук, хотя должен давать рекомендации любой науке. На наш взгляд, это противоречие легко разрешается с позиций принципа целесообразности (Коросов, 2009). Если цель специального исследования состоит в изучении ограниченного числа свойств объекта исследования, то и обнаружиться может только ограниченное число эмерджентных качеств. Не предпринимая попыток специальных исследований «силы» проявления других свойств объектов, авторы не видят их особенностей и не считают эмерджентными (ограничивая разнообразие сред существования объекта). Каждый раз, рассматривая обычно единичное особенное качество, многие авторы путем неполноценной популярной индукции приходят к выводу о редкости эмерджентных качеств, возникающих только в особенных случаях особенно благоприятных сочетаний элементов.

Если же признать ограниченность любых предметных исследований и потенциальную бесконечность свойств любого тела, то неизбежен логический вывод о бесконечном числе эмерджентных качеств любого объекта, до поры не замеченных исследователями. Более того, следует принять, что любое свойство объектов имеет эмерджентный характер, представляя собой результат специфического взаимодействия частей внутри целого и целого – со средой.

Такой вывод, с одной стороны, не подвергает сомнению наличие эмерджентных свойств у реальных объектов, с другой стороны, сохраняет универсальность системного подхода (общность хода исследования любого феномена), не утверждающего ничего конкретного относительно реальных объектов. Вместе с тем, системный подход явно призывает исследовать источники любых свойств объектов, в том числе именуемых «эмерджентными».

Такая логика должна ликвидировать рассуждения о качественном своеобразии некоторых, избранных систем и об исключительной редкости эмерджентных качеств. В то же время это утверждение не снимает проблему разной выраженности этих свойств, проблему порождения эмерджентности разными композициями системных элементов и в разных условиях, исследование которых составляет предмет специальных наук.

Все свойства системы – эмерджентны, любое качество объектов природы связано как с его составом и строением, так и с взаимодействием с объектами среды; количество этих свойств в потенции бесконечно велико у каждого объекта.

### **«Опираясь на знание свойств элементов системы, невозможно предвидеть ее эмерджентные качества»**

В качестве своеобразного эмерджентного качества исследователи отмечают непредсказуемый характер поведения многих объектов. «Во взаимодействии между функциями двух или более компонент часто возникает непредвиденное или внезапно появляющееся свойство, которое не обнаруживается в любой отдельной компоненте» (Саати, Кернс, 1991, с. 76–77). «...Качественно новые, эмерджентные, свойства... экологической единицы нельзя предсказать, исходя из свойств компонентов, составляющих ...единицу» (Одум, 1986, с. 15). «...Дать удовлетворительный прогноз о поведении сложной системы..., опираясь только на собственный опыт и интуицию, практически невозможно. Сложные системы... реагируют на воздействия совсем иным образом, чем это нами интуитивно ожидалось» (Розенберг, 1984, с. 10). На это явление впервые обратил внимание Дж. Форрестер (2003, с. 196): «Интуитивно очевидные «решения» социальных проблем имеют тенденцию заводить в одну из нескольких ловушек, обусловленных характером сложных систем»; оно получило название «принцип контринтуитивного поведения» систем.

#### **Контринтуитивное поведение**

В качестве примера можно привести следующие, казалось бы, очевидные зависимости. Масса сердца всех видов млекопитающих независимо от размера составляет около 0,6 % от массы тела:  $M_{\text{сердца}} = 0.0058 \times M_{\text{тела}}^{0.98}$ . Адаптивное снижение массы сердца сопровождается увеличением частоты пульса. Однако у самых мелких млекопитающих (таких, как бурозубка *S. cunereus*) для обеспечения необходимого для жизни числа сердцебиений (3000 уд/мин) требуется такая скорость проведения нервного импульса, которая невыполнима для нервной ткани. Ограничения нервной системы компенсируются ростом массы (и систолического объема) сердца бурозубки – до 1.7 % вместо 0.58 % (Шмидт-Ниельсен, 1982). Другой пример. Несмотря на существенные изменения температуры среды

(воздуха, почвы, субстрата), при условии прямой инсоляции поведенческая терморегуляция обеспечивает довольно стабильную температуру тела рептилий (температурный гистерезис) (Эккерт и др., 1992). Интенсивность метаболизма этих пойкилотермных животных в прохладных условиях предсказуемо снижается, но лишь на первых порах – спустя одну-две недели их ферментативная система перестраивается (Хочачко, Сомеро, 1988), и уровень метаболизма восстанавливается до нормы даже при довольно низких температурах среды (температурная компенсация) (Шилов, 1985). В каждом из этих случаев наблюдается изменение не того свойства, которое «интуитивно» должно бы измениться, или оно меняется совершенно не так, как можно было (линейно) предположить.

Наблюдая подобные явления, многие авторы отмечают большие сложности в поиске источника эмерджентных качеств. «Поведение системы не может быть предсказано на основании наблюдения за ее изолированными частями» (Саати, Кернс, 1991, с. 21). «Сложные свойства сложной системы нельзя изучить путем ее "расчленения"» (Розенберг, 1984, с. 7).

Причин этой проблемы несколько. С одной стороны, изучаемая реакция биосистемы, как правило, представляет собой не простое физическое или химическое противодействие воздействию (третий закон Ньютона, принцип Ле Шателье), но является биологической реакцией, подготовленной всем ходом филогенетического и индивидуального развития биологических объектов (рис. 4). Природный фактор лишь высвобождает заранее подготовленную адаптивную реакцию; он как бы информирует биосистему о состоянии среды, позволяя биосистеме выработать наиболее эффективную стратегию для использования этой ситуации себе во благо. Эмерджентность в биологии проявляется как выживание биосистемы в самых разнообразных природных условиях.



Рис. 4. Блок-схема адаптивной реакции  
Fig. 4. Block diagram of the adaptive response

При более глубоком рассмотрении оказывается, что специфика откликов названных объектов определяется корреляционными зависимостями частей биосистемы. Биологические реакции демонстрируют две черты – множество ответов на одно средовое воздействие и коррелированность этих ответов. В силу этого биосистема, испытавшая действие некоего фактора, передавая полученный импульс по внутренней цепочке зависимостей, может так изменить свои неконтролируемые человеком качества, что значение контролируемых качеств сойдет «на нет».

Схема реакции биологической системы (рис. 5) включает элемент-рецептор внешнего воздействия ( $\mathcal{E}_1$ ), а также другой элемент ( $\mathcal{E}_2$ ), корреляционно связанный с первым и проявляющий себя какой-либо внешней реакцией по отношению к среде. В определенном диапазоне значений отношение «объект1 – элемент1» может реализовываться пропорционально (увеличение дозы – усиление реакции: чем меньше вес тела, тем меньше и вес сердца; чем ниже температура, тем ниже темпы энергетического обмена). Однако, начиная с некоторого значения, на воздействие фактора начинает реагировать элемент  $\mathcal{E}_2$  (в силу корреляции с элементом  $\mathcal{E}_1$ ), проявляя свою реакцию в отношении с объектом 2 (увеличение дозы – новая реакция: чем меньше вес тела и вес сердца, тем коррелятивно быстрее становится пульс, появляется дефицит времени для прохождения импульса, компенсаторно увеличивается объема сердца; чем дольше держится низкая температура, тем больше вырабатывается фермента, тем выше скорость метаболизма пойкилотермных животных). В рассмотренной схеме элемент  $\mathcal{E}_1$  символизирует уровни обычного описания биосистем, а элемент  $\mathcal{E}_2$  – те уровни, которые обычно не попадают в

описание. Простая модель отношения «биосистема – среда» оказывается существенно неполной, она не может выступать заместителем реальной системы даже в важнейших ее проявлениях. При этом основной причиной «неожиданности» поведения системы является недостаточно широкий взгляд исследователя, из поля зрения которого выпали некоторые (многие) свойства объекта исследования.

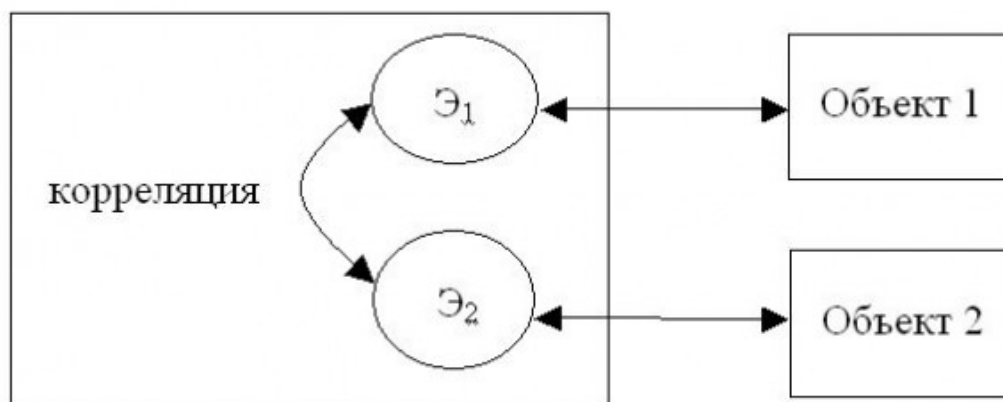


Рис. 5. Блок-схема субстратного (органного) взаимодействия функции

Fig. 5. Block diagram of the substrate (organ) interaction of functions

В качестве более развернутого примера рассмотрим контринтуитивные результаты реакклиматизации соболя на обширном сибирском ареале в середине прошлого века. Как и других реакклиматизируемых животных, зверьков выпускали небольшими группами на незаселенной территории. Однако эти искусственные группировки (в отличие от многих видов интродуцентов) исчезали через несколько лет. Исследователи сначала не учли, что «...только на уровне такой системы, как популяция, возможно создание и функционирование специфических механизмов... популяционного гомеостаза... Особое значение имеет функциональная структура, или структура... взаимосвязи как между особями, так и между внутривидовыми группировками... Особенности пространственной структуры популяции соболя определяются... наличием латентного периода развития эмбриона и комплекса поведенческих реакций, ... («ложный гон»). Оплодотворенная в июле яйцеклетка... в марте следующего года... внедряется в стенку матки, и эмбрион начинает интенсивно развиваться... Проявление ложного гона тесно связано с числом контактирующих между собой особей... Активно он протекает при 12 и более особей, ...гон... стимулирует гормональную активность... имплантацию эмбриона... Если в такой группировке менее 8 особей, ложный гон не проявляется, ...у оплодотворенной самки прекращается беременность» (Павлов, 1986, с. 187, 189, 190). Итак, простое снижение числа особей, контактирующих во время ложного гона, приводит к катастрофической реакции – нарушению репродукции популяции в целом. Исходные модели не охватывали многие отношения между элементами изучаемых систем, и для адекватного описания динамики численности соболя потребовалось учитывать не только половозрастную, но также пространственную и этологическую структуру популяции.

Реакцию биосистемы как целого на окружающую среду удастся объяснить, лишь проникнув в ее структуру. Если для «физических» систем характерна независимость многих отдельных качеств (в сходных диапазонах параметров среды), то биологические системы имеют в большинстве взаимообусловленные качества. Как бы подробно не исследовался биологический объект, рано или поздно в тех или иных условиях найдется свойство, коррелятивное изменение которого изменит поведение системы до неузнаваемости. Принцип эмерджентности направляет внимание исследователей на поиск специфической взаимообусловленности свойств биологических объектов.

#### **Омнипотентность**

Аналогичное непредвиденное, контринтуитивное поведение системы может быть сопряжено и с ее реакцией на некий внешний фактор, который ранее не учитывался в модели, поскольку в прежних условиях он имел уровень, несущественный для биологического объекта. «Факторы, не включенные в модель экосистемы в силу их малой значимости в прошлом, ...могут оказаться в будущем всемогущими» (Брусиловский, 1989, с. 22). Термин «омнипотентность» (всемогущество) введен В. В. Налимовым, который рассмотрел ситуации, когда «ранее малозначимый фактор приобрел решающее значение»

(Налимов, 1983, с. 112). «В основе большинства методов долгосрочного прогнозирования лежит аналого-инерционная экстраполяция – перенос прошлых тенденций на будущее... Предполагается, что закономерности динамики экологической системы любого уровня организации, выявленные в прошлом, будут проявляться в будущем» (Павлов, 1984, с. 177). Такие модели воплощают в себе «...отрицание потенциально возможной omnipotentности тех факторов, которые оказались не включенными в модель в силу их весьма малой значимости в прошлом...» (Налимов, 1983, с. 112).

Привести примеры, подтверждающее это эмпирическое правило, весьма трудно, поскольку расхождение между модельным прогнозом и реальностью исследователи считают, очевидно, неудачей, недостойной опубликования. На наш взгляд, напротив, несовпадение теоретических представлений и реальной ситуации должно стать объектом особенно пристрастного анализа, поскольку речь идет об обнаружении нового фактора, значимого для изучаемой биосистемы. Редкий пример такого рода тщательно проанализирован в работе В. С. Безеля (1987). При лабораторном исследовании состояния полевок, загрязненных через корм тяжелыми металлами, удалось определить пороговые уровни загрязнения организма, при которых наблюдается физиологическая патология; по данным о загрязнении растительности и животных тяжелыми металлами в районе их добычи теоретически был рассчитан показатель «доля пораженных особей» в дикой популяции полевок. Однако при натурных исследованиях состояния этих животных из дикой популяции «пораженных» особей обнаружить не удалось, несмотря на превышение порогов загрязнения, определенных в лаборатории как критические. Модель не совпала с реальностью. «Прямая диагностика состояния животных в выборках в большинстве случаев не подтверждает теоретической оценки... Подобное несоответствие мы видим в следующих возможных причинах... Практически невозможно установить в природных популяциях наличие у животных признаков поражения ЦНС... Эти отклонения ведут к неадекватной реакции зверьков на изменения внешней обстановки и являются мощным фактором избирательной элиминации “пораженных” особей хищниками» (Безель, 1987, с. 100). Неучтенный фактор – естественный отбор – оказался более могущественным, чем все прочие (токсикологические) факторы, включенные в модель.

В рассмотренных примерах «эмерджентность» выступает синонимом «неожиданности» поведения объектов, однако это понятие относится не к объекту исследования, но к исследователю. Чем меньше у автора багаж личного опыта наблюдений объекта в разных условиях, чем менее развито общее представление о нем (меньше «объем интуиции»), тем более неожиданными будут проявления свойств любых объектов. Для ребенка любое свойство – ново, непредсказуемо. Очевидно также, что степень «неожиданности» не может служить методологическим принципом.

*Эмерджентность – это ограниченные по числу свойства изучаемых объектов, на которые человек обращает внимание в контексте своих целевых устремлений; особенно ярко проявляется эмерджентность в тех случаях, когда эти свойства оказываются непредсказуемым.*

## **Технология системного исследования**

Каким же образом должно строиться моделирование биологических объектов, если ни редукционизм (игнорирование системного окружения), ни холизм (игнорирование внутренней структуры) не могут дать вполне адекватной модели биосистемы?

Полноценное определение целостного объекта можно получить лишь, явно учитывая и структуру, и окружение «системы». Это понимал еще Ж. Кювье (1937, с. 129): «Различные части каждого существа должны быть таким образом координированы, чтобы сделать возможным существования данного существа как целого не только в самом себе, но и в отношении с другими». Аналогичные мысли высказывались и в античные времена о риторике. «...Для исполнения потребна наука, которой не все обладают, а для слушания — только чувство, которое всем нам дала природа... Иное будет доставлять удовольствие, а иное – только неприятность... “Кстати” происходит что-нибудь или “некстати”, это определяется не наукой, а вкусом» (Дионисий Галикарнасский, 1978, с. 182, 184). Как хорошо отметил автор, законы отношения (соединения) частей системы (фраз, слов) – одни, они определяются наукой риторикой; законы же отношения системы со своим окружением (восприятие речи слушателями) – другие, они определяются и свойствами соседей (эстетическим вкусом).

*Эмерджентность – объективно двуликая черта системного мира. С одной стороны, потенции системы предопределены ее строением, с другой стороны, именно от объектов системного окружения*

*зависит, какие именно потенции проявятся. Модельное описание эмерджентных качеств требует и редукционного, и холистического описаний свойств системы, чтобы на этой базе прийти к их синтезу, к целостной модели системы.*

В случае конкретного экологического исследования это означает, **что систему важно исследовать на трех уровнях иерархии**: на уровнях субэлементов, самой системы, надсистемы. «По мнению Пэттена (Patten, 1978), идеальное изучение какого-либо уровня системы включает изучение трехчленной иерархии: системы, подсистемы (соседний нижний уровень) и надсистемы (следующий верхний уровень)» (Одум, 1986, с. 17). При этом важно помнить, что никакое подразделение биосистем не может быть окончательным, дробность и состав систем меняются по мере углубления знания и появления новых задач исследования; адекватность модели всегда относительна и повышается по мере выдвижения и отбраковки промежуточных моделей. (Специальное исследование должно вести к формулировке закона, отбрасывающего необходимость системных построений.)

В качестве примера системного подхода, в явном виде исследующего проявления эмерджентности (на трех уровнях иерархии), рассмотрим решение проблемы северных границ популяций животных (Шварц, 1980, с. 217–220).

Сначала была поставлена проблема.

«...Труднейший вопрос, который до сих пор служит предметом оживленных теоретических дискуссий...: условия среды изменяются постоянно, границы распространения отдельных видов и природных комплексов выражены четко... На крайнем северном пределе своего распространения полевка-экономка нередко достигает плотности поселения, которая характерна для лесостепной популяции (экологический оптимум вида)».

Затем была описана структура (субэлементы; редукционизм, 2 уровня) популяции полевок на 4 языках: сроки созревания последних генераций, плодовитость самок, устойчивость животных к снеготаянию, численность популяции.

«Тундровые популяции полевок... обладают многими интересными приспособлениями... Одно их них – повышенная плодовитость и раннее половое созревание... Процветание популяций полевок становится возможным в случае реализации геометрической прогрессии размножения в течение одного сезона. Начало размножения полевок возможно лишь после спада весенних вод (...молодняк полевок в период бурного таяния снегов полностью погибал)».

Изучение структуры и функции популяции позволило точно определить ее эмерджентные потенции репродуктивной системы. На первом уровне редукции описаны свойства субэлементов: гибель молоди от паводков весной и заморозков осенью, на втором уровне определена необходимая продолжительность цикла воспроизводства. «...Для реализации быстрого нарастания численности... продолжительность благоприятного для размножения периода не может быть меньше 130 дней».

Затем настает очередь описания компонентов надсистемы (факторов среды), по отношению к которым и могут проявиться эмерджентные потенции популяции (холизм, уровни 2–3).

«На Ямале (южнее 68°) ...переход весенней температуры через 0° приходится на 1 июня. Это значит, что начало успешного размножения полевок не может начаться раньше 15 мая... Окончание периода размножения определяется холодными осенними ливнями... когда в первой декаде сентября среднесуточная температура приближается к 0°. ...Общий период размножения полевок на северном пределе их распространения определяется... в 120 дней (10.V–10.IX), что практически идеально совпадает с теоретической схемой воспроизводства вида».

Синтез редукционистской и холистической схем дают системную модель, которая позволяет сделать принципиальное заключение, решающее проблему дискретной границы ареала северных животных.

«Задержка весеннего тепла на 5–6 дней может привести к выпадению одной из генераций грызунов... Реальный темп воспроизводства популяций полевок лишь в редких случаях совпадает с теоретическим... Ничтожные изменения длительности зимы севернее 67° кладут предел их распространению... Область распространения вида оказывается четко ограниченной. Граница... даже на крупномасштабной карте... представляет собой линию, а не размытую полосу».

Результаты этого полноценного моделирования позволяют сделать общее заключение в форме эмпирического закона.

«Популяция как структурное целое превращает количественные изменения условий среды в качественные, постоянные – в прерывистые. Изменения среды обитания, ...выходящие за пределы нормы, имеют следствием изменение экологии вида вплоть до ограничения его распространения» (Шварц, 1980, с. 219).

## **Заключение**

1. Эмерджентность – это те свойства изучаемых объектов, на которые человек обращает внимание в контексте своих целевых устремлений, особенно в тех случаях, когда эти свойства оказываются непредсказуемыми.
2. Эмерджентные качества присущи любому объекту (объединению) независимо от природы, композиции, структуры, динамики.
3. Эмерджентные свойства – это свойства частей объекта, преобразованные (усиленные, стабилизированные и т. д.) благодаря взаимодействию этих частей друг с другом; свойства одних элементов «берут силу» от своих соседей и от связей между ними.
4. Все свойства любой «системы» – эмерджентны, любое качество объектов природы связано как с его составом и строением, так и с взаимодействием с объектами среды; количество этих свойств в возможности бесконечно велико у каждого объекта.
5. Принцип эмерджентности – это свободный от предрассудков метод исследования системных качеств с опорой на знание свойств элементов, связей между ними и свойств системной среды. Принцип эмерджентности состоит в том, чтобы, определив у объекта исследования некие особенные, яркие свойства, выяснить их источник (внешний и внутренний), понять их генезис.
6. Системный подход предлагает в принципе эмерджентности видеть метод исследования источников свойств объектов на трех уровнях иерархии – как с точки зрения специфической композиции систем, так и с точки зрения специфики ее взаимодействия с объектами среды.

## **Библиография**

- Аверьянов А. И. Системное познание мира. [System cognition of the world] М.: Политиздат, 1985. 263 с.
- Альтшуллер Г. Вепольный анализ: Метод. указания. [Mat-field analysis. Guidance] Баку: ОЛМИ, 1973. 23 с.
- Аристотель. Метафизика [Metaphysics] // Соч.: В 4 т. Т. 1. М.: Мысль, 1975. 550 с.
- Аристотель. О частях животных. [On the parts of animals] М., 1937. 220 с.
- Аристотель. Физика [Physics] // Соч.: В 4 т. Т. 3. М.: Мысль, 1981. 613 с.
- Безель В. С. Популяционная экотоксикология млекопитающих. [Population ecotoxicology of mammals] М.: Наука, 1987. 130 с.
- Белановский А. С. Физика с основами биофизики. Ч. 1. Гемодинамика, акустика, термодинамика. [Physics with the foundations of biophysics. Part 1. Hemodynamics, acoustics, thermodynamics] М.: Наука, 1984. 92 с.
- Блауберг И. В., Юдин Б. Г. Понятие целостности и его роль в научном познании. [The concept of integrity and its role in scientific cognition] М.: Знание, 1972. 48 с.
- Блауберг И. В., Юдин Б. Г. Становление и сущность системного подхода. [Formation and the essence of the system approach] М.: Наука, 1973. 270 с.
- Богданов А. А. Системная организация материи [System organization of matter] // На переломе: Философские дискуссии 20 годов. М.: Политиздат, 1990. С. 422–435.
- Брусиловский П. М. Прогнозирование численности популяций. [Forecasting the populations] М.: Знание, 1989. 64 с.
- Галковский Г. А., Суценя А. М. Рост водных животных при переменных температурах. [Growth of aquatic animals at varying temperatures] М.: Наука, 1978. 144 с.
- Дионисий Галикарнасский. О соединении слов [On a combination of words] // Античные риторика. М.: Изд-во МГУ, 1978. С.165—221.



Дольник В. Р. Аллометрическое «устройство» энергетики рептилий [Allometric «device» of reptiles energy] // Зоол. журн. 1999. Т. 78. № 11. С. 1330–1339.

Иванищев В. В., Михайлов В. В., Тубольцева В. В. Инженерная экология. [Engineering ecology] Л.: Наука, 1989. 144 с.

Ивантер Э. В. Основные закономерности и факторы динамики численности мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР [Basic patterns and factors of population dynamics of small mammals in the taiga North-West of the USSR] // Экология птиц и млекопитающих Северо-Запада СССР. Петрозаводск, 1976. С. 95–112.

Ивантер Э. В. Основные закономерности и факторы динамики численности мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР [Basic patterns and factors of population dynamics of small mammals in the taiga North-West of the USSR] // Экология птиц и млекопитающих Северо-Запада СССР. Петрозаводск, 1976. С. 95

Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. [Introduction to quantitative biology] Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 304 с.

Калабухов Н. И. Методика экспериментальных исследований по экологии наземных позвоночных. [The method of experimental studies on the ecology of terrestrial vertebrates] М.: Сов. наука, 1951. 177 с.

Клайн М. Математика. Поиск истины. [Mathematics. Search for the Truth] М.: Мир, 1988. 295 с.

Коросов А. В. Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). [Simulation in MS Excel environment (with the examples from ecology)] Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. 212 с.

Коросов А. В. Принцип целесообразности и моделирование биосистем [Principle of practicability and modeling biosystems] // Уч. зап. Петрозаводского гос. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. 2009. № 7. С. 40–46.

Коросов А. В. Системы и экосистемы [Systems and ecosystems] // Уч. зап. Петрозаводского гос. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. 2008. № 2. С. 58–67.

Коросов А. В., Фомичев С. Н. Структура трофических отношений в островном зооценозе: доминирование обыкновенной гадюки [Structure of trophic relations in the island Zoocenosis: domination of the adder] // Материалы III съезда Герпетологического о-ва им. А. Н. Никольского (17–22 сентября 2006 г., Пущино-на-Оке). СПб., 2008. С. 191–197.

Краснощеков Г. П., Розенберг Г. С. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах). [Ecology «in the law» (theoretical constructs of modern ecology in quotations and aphorisms)] Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 2002. 248 с.

Кювье Ж. О переворотах на поверхности Земного шара. [About cataclysms on the surface of the Earth] М.; Л.: Гос. изд-во биол. и мед. лит., 1937. 370 с.

Лосев А. Ф. Самое само [The essence of being] // Миф – Число – Сущность. М.: Мысль, 1994. С. 299–526.

Меншуткин В. В. Имитационное моделирование водных экологических систем. [Simulation of aquatic ecosystems] СПб.: Наука, 1993. 160 с.

Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. Анализ на уровне организма. [Growth of animals. Analysis at the level of an organism] М.: Наука, 1976. 291 с.

Налимов В. В. Анализ оснований экологического прогноза. Паттерн-анализ как ослабленный вариант прогноза [Analysis of the foundations of ecological forecasting. Pattern analysis as a weaker version of the

forecasting] // Вопр. философии. 1983. № 1. С. 108–117.

Одум Ю. Экология. [Ecology] В 2 т. М., 1986. Т. 1. 328 с.

О'Коннор Дж., Макдермотт И. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем. [Art of Systems Thinking: Essential knowledge about systems and creative approach to problem solving] М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 256 с.

Павлов Б. К. Методология прогнозирования численности наземных животных [Methodology of forecasting the number of terrestrial animals] // Прогнозирование экологических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 185–190.

Павлов Б. К. Причины ошибок долговременных прогнозов состояния популяций животных при использовании аналого-инерционных экстраполяций [Causes of error status of long-term forecasts of animal populations, using an analog-inertial extrapolations] // Геологические и экологические прогнозы. Новосибирск: Наука, 1984. С. 177–180.

Пажетнов В. С. Бурый медведь. [Brown bear] М.: Агропром, 1990. 215 с.

Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. [Introduction to system analysis] М.: Высш. шк., 1989. 367 с.

Преображенский Б. В. Системный подход в современной биологии [The system approach to modern Biology] // Природа биологического познания. М.: Наука, 1991. С. 69–86.

Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ. [Introduction to simulation and language Slama] М.: Мир, 1987. 644 с.

Ракитов А. И. Курс лекций по логике науки. [Lectures on the science logic] М.: Высш. шк., 1971. 176 с.

Ракитов А. И. Философские проблемы науки. [Philosophical problems of science] М.: Мысль, 1977. 270 с.

Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии. [Models in phytocenology] М.: Наука, 1984. 265 с.

Розенберг Г. С., Рянский Ф. Н. Теоретическая и прикладная экология. [Theoretical and Applied Ecology] Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 2005. 292 с.

Рузавин Г. И. Методология научного познания. [Methodology of scientific cognition] М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. 287 с.

Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. [Analytical planning. Organization of systems] М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

Саламатов Ю. П. Система развития законов творчества [The system of the development of creativity laws] // Шанс на приключение. Петрозаводск: Карелия, 1991. С. 5–174.

Телемтаев М. М. Целостный метод системной технологии и системная экология. [Holistic method of system technology and system ecology] URL: <http://lib.rus.ec/b/199147> (добавлена 28.04.2010).

Терентьев П. В. Влияние климатической температуры на размножение змей и бесхвостых земноводных [The influence of climatic temperature on the reproduction of snakes and tailless amphibians] // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1952. Т. 32. С. 14–23.

Урбах В. Ю. Биометрические методы. [Biometric methods] М.: Наука, 1964. 415 с.

Фармацевтические технологии производства лекарств. Гл. 24. Растворители и экстрагенты. Этиловый

спирт. Вода. [Pharmaceutical technology drugs. Chapter 24. Solvents and extractants. Ethyl alcohol. Water] URL: <http://www.protabletki.ru/rus/tehn/page25.html> (дата обращения: 20.05.2012).

Флейшман Б. С. Основы системологии. [Fundamentals of systemology] М.: Радио и связь, 1982. 368 с.

Форрестер Дж. Мировая динамика. [World Dynamics] М.: АСТ; СПб: TerraFantastica, 2003. 379 с.

Хочачко П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. [Biochemical Adaptation] М.: Мир, 1988. 568 с.

Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции. [Ecological laws of evolution] М.: Наука, 1980. 278 с.

Шилов И. А. Физиологическая экология животных. [Physiological ecology of animals] М.: Высш. шк., 1985. 328 с.

Шмальгаузен И. И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. [Organism as a whole in the individual and historical development] М.: Наука, 1982. 383 с.

Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Приспособление и среда. [Animal Physiology. Adaptation and Environment] М.: Мир, 1982. Т. 1–2. 800 с.

Эккерт Р., Рендал Д., Огастин Дж. Физиология животных: Механизмы и адаптация. [Animal Physiology: Mechanisms and Adaptation] Т. 2. М.: Мир, 1992. 246 с.

Энгельс Ф. Диалектика природы [Dialectics of Nature] // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. М., 1983. Т. 20. С. 339–626.

## An emergent principle in ecology

**KOROSOV  
Andrey**

*Petrozavodsk state university, korosov@psu.karelia.ru*

### **Keywords:**

system ecology  
system approach  
emergency  
simulating

### **Summary:**

A few specific qualities of objects sharply distinguishing the objects themselves from their constituent parts are considered as emergent properties. Logical analysis shows the limitation of this point of view related to the attaching ontological content to the notion "system". From the methodological point of view all the qualities of natural objects are emergent and their number is infinite. Emergent property seems the characteristic of a researcher which considers in detail only a few properties of the things that attracted his attention. Emergent principle is a logical method of the investigation of bright "systemic qualities" based on the knowledge of the properties and relationships between the system elements as well as between the system and its environment. The key moment is the search of some "rudimentary" properties of the system components that in interaction significantly enhance the degree of their manifestation and become emergent "systemic" properties.