**ПУТИ САМООРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

**Иванов О.П.,** канд. геол.-мин.н., в.н.с. МЗ МГУ,

**Рукин М.Д.,** д.т.н., профессор, в.н.с. МЗ МГУ

**Аннотация.** Работа посвящена анализу путей развития теории самоорганизации для мира сложных систем. Это связано с тем, что современное миропонимание базируется на понятиях сложного мира и соответственно на взаимодействиях сложных систем, таких как нелинейность, неравновесность и хаотическое состояния в процессе эволюции. В работе кратко изложены не только все типы самоорганизации известные на данное время, но и отражена степень участия авторов в этой теме. Кроме этого рассмотрен отдельно новый тип кумулятивной самоорганизации.

**Ключевые слова:** неравновесность, нелинейность, структурно-фазовый переход, бифуркации, устойчивость, аттрактор, эволюция, перемежаемость, хаос, порядок, кумуляция.

 **ВВЕДЕНИЕ.** Довольно длительное время наука при рассмотрении строения и эволюции мира преимущественное внимание уделяла представлениям о статической устойчивости, упорядоченности, однородности, обратимости. В условиях нарастающих темпов изменений в мире, свидетелями которых мы являемся, трудно говорить о стационарных структурах, об устойчивых, неизменных образованиях как о чем-то лежащем в основе мироздания. Теперь устойчивость, или хотя бы метастабильную устойчивость, следует искать в динамике, а не в неподвижности во времени.

 Более того, экспериментальные и теоретические открытия естественных наук в 70—80-е гг. внесли существенные коррективы в методологические доминанты системных исследований. Теперь исследователей интересуют не системы вообще, а изменяющиеся системы, в которых неустойчивость есть предпосылка изменения способа их поведения. Уточняются базовые понятия системного анализа — устойчивость, стационарность, равновесность. Наряду с рассмотренными традиционными характеристиками системы в поле зрения попадают новые характеристики (нелинейность, потенциальность, когерентность, критическое поведение и другие). Непосредственно процесс самоорганизации сложных динамических систем становится предметом научных исследований в области синергетики, теории самоорганизации, теории сложных систем.

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ТЕРМИНА САМООРГАНИЗАЦИЯ** Гипотеза об упорядочении в системе за счёт её внутренней [динамики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0) высказывалась

философом [Р. Декартом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%2C_%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D0%B5) в пятой части «Рассуждения о методе». Позже он подробно разработал эту идею в так и не опубликованной книге «Le Monde».

[И. Кант](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D1%82%2C_%D0%98%D0%BC%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D1%83%D0%B8%D0%BB) выдвинул [небулярную гипотезу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B1%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0), согласно которой планеты образовались из туманности за счёт притяжения и отталкивания, внутренне присущих материи [1].

Необходимо заметить, что представления о [спонтанном](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA) возникновении порядка и самоорганизации не тождественны. [Атомизм](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%BC) [Демокрита](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82) или [статистика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) [Больцмана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%BC%D0%B0%D0%BD) рассматривают возникновение порядка как случайность, причём категория порядка является субъективной, наличие порядка кажущимся.

Впервые термин появился в [1947 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1947_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) в научной публикации [Уильяма Эшби](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%88%D0%B1%D0%B8%2C_%D0%A3%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%8F%D0%BC) [2]. В [1960](https://ru.wikipedia.org/wiki/1960-%D0%B5) годы термин использовался в [теории систем](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC), а в [1970-е](https://ru.wikipedia.org/wiki/1970-%D0%B5) — [1980-е](https://ru.wikipedia.org/wiki/1980-%D0%B5) стал использоваться в [физике сложных систем](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC).

[Г. Хакен](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BD%2C_%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD) — основатель [синергетики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) определил её как науку о самоорганизации. До [XXI века](https://ru.wikipedia.org/wiki/XXI_%D0%B2%D0%B5%D0%BA) синергетика казалась монополистом на описание самоорганизации. В связи с сотрудничеством представителей [естественных наук](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8) в области [нанотехнологий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8) выяснилось, что [термин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD) самоорганизация, в области [супрамолекулярной химии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F) и эволюционной [биологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) определен иным образом для других [феноменов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD), нежели в синергетике. Кроме того, определение, данное в рамках синергетики, благодаря междисциплинарности этой науки, расплылось по разным [дисциплинам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0), стало нечётким.

За всю историю наука неоднократно оказывалась в тупиковых ситуациях и только благодаря широкой научной полемике и новым открытиям находился правильный путь. Поэтому, чтобы придать дальнейшим рассуждениям конструктивный смысл внесем следующее утверждение. В природе существует только три типа процессов которые связаны с проблемой самоорганизации: диссипативные (включая диффузионные), кумулятивные (включая конденсацию) и кумулятивно - диссипативные.

1. **ДИССИПАТИВНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ** (синергетический подход). Определение, данное Г. Хакеном в 1980-е гг. в рамках синергетики, следующее:

«Самоорганизация — процесс упорядочения (пространственного, временного или пространственно-временного) в открытой системе, за счёт согласованного взаимодействия множества элементов её составляющих». Впоследствии фраза была дополнена словами "без структурирующего воздействия из вне". И здесь кроется существенная не корректность. Тем более, что с позиций системного анализа утверждение выглядит иначе. Приведем пример: цыплята, выведенные в инкубаторе, где подается именно не структурированное тепло, выживают не все (около 60 %). Это говорит о том, что их иммунная счистема ослаблена, тогда как процент высиженных курицей намного выше. Следовательно, важно не только тепло, но и устойчивая система ритмов, передаваемых курицей и закрепляемых в иммунной системе цыплят. Значит, речь идет об ***информационном и когерентном взаимодействии с внешней средой***.

Следует отметить, что понятие самоорганизации сейчас больше связано с поведением и состоянием сложных динамических систем и процессов в рамках развития и эволюции.

**ОСОБЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ** [3]**:**

* открытость (наличие обмена [энергией](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F)/[веществом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) ***и информацией*** с окружающей средой);
* могут содержать малое или большое число элементов (подсистем) **микро - и макромасштабы**;
* имеются стационарныые устойчивые режимы систем, в которых элементы взаимодействуют [**хаотически**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BE%D1%81) (не когерентно);
* всякая сложная система имеет спектральный портрет из собственных квази-резонансных частот.

**ОСОБЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ** [3]**:**

* интенсивный обмен энергией/веществом ***и информацией с окружающей средой***, причём совершенно хаотически (порой не вызывая упорядочение в системе);
* макроскопическое поведение системы описывается несколькими величинами — [параметром порядка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BA%D0%B0) и управляющими параметрами (исчезает информационная перегруженность системы);
* имеются некоторые критические значения управляющего параметра (связанного с поступлением энергии/вещества и информации), при которых системы спонтанно переходят в новое упорядоченное состояние (переход к сильному неравновесию);
* новое состояние обусловлено согласованным ([когерентным](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)) поведением элементов системы, эффект упорядочения обнаруживается только на макроскопическом уровне;
* новое состояние существует только при безостановочном потоке энергии/вещества и информации в систему. При увеличении интенсивности обмена система проходит через ряд следующих друг за другом критических переходов; в результате структура усложняется вплоть до возникновения турбулентного хаоса. Особую роль для подкачки энергии в систему играют квазирезонансные взаимодействия на собственных частотах.

Для однозначности определения термина, его связи с характеристиками системы и процесса, как правило, делались ссылки на один из четырех стандартных примеров самоорганизации [3]:

* [лазер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80) — пространственное упорядочение;
* [ячейки Рэлея — Бенара](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D1%87%D0%B5%D0%B9%D0%BA%D0%B8_%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B0) — пространственное упорядочение;
* [реакция Белоусова — Жаботинского](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%83%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%E2%80%94_%D0%96%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE) — пространственно-временное упорядочение;
* диссипативные структуры И. Пригожина — пространственно-временное упорядочение.

"[Нобелевский лауреат](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B8) [Илья Пригожин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD%2C_%D0%98%D0%BB%D1%8C%D1%8F_%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87) создал нелинейную модель реакции Белоусова — Жаботинского, так называемую [брюсселятор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D1%8E%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80). И так как для возникновения упорядочения в таких системах необходим приток энергии или отток энтропии, её диссипация, Пригожин назвал эти системы [диссипативными](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0). Вследствие [нелинейности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0) и наличия более одного [устойчивого состояния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5) в этих системах, в них не выполняется ни [второе начало термодинамики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BB%D0%BE_%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B8), ни [теорема Пригожина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD%D0%B0) о минимуме скорости [производства энтропии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D1%8D%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D0%B8). Однако существуют примеры пространственно-временных диссипативных структур — [автоволны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) ламинарного горения и тепловые волны (автоволны) в слое неподвижного катализатора, для которых полное производство энтропии в системе является функционалом автоволнового решения задачи (термодинамической функцией Ляпунова). Его минимум соответствует физически содержательному решению задачи" [3].

**1. ДИССИПАТИВНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ.** По аналогии описания самоорганизующихся систем с [фазовыми переходами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4) диссипативная самоорганизация получила название *фазового перехода в неравновесной системе*. Нами используется понятие структурно-фазового перехода — это более емкое определение, так как оно учитывает особенности выхода из неравновеного состояния системы **с учетом динамики обратных связей и диссипативных структур**, а в биологических эукариотных системах за счет **наращивания новых типов клеток, т.е. усложнения структуры**.

"Методы синергетики были использованы практически во всех научных дисциплинах: от [физики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и [химии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F) до [социологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) и [филологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F). [Градообразование](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1) и нейронные сети описаны как [диссипативные структуры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B). В последнее время практически исчезло использование первоначально необходимого математического аппарата [нелинейных уравнений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F). Это привело к тому, что любая система естественного происхождения, не принадлежащая компетенции [равновесной термодинамики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0), стала рассматриваться как самоорганизованная" [3].

**ДРУГИЕ ТИПЫ САМООРГАНИЗАЦИЙ.**

Кроме описанной выше диссипативной самоорганизации ***в виде когерентного взаимодействия или через диссипативные структуры*** возник ряд других подходов к трактованию этого термина.

**Консервативная и динамическая самоорганизации** (супрамолекулярная химия и фазовые переходы). "В [1987 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1987_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) другой [Нобелевский лауреат](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B8) [Жан-Мари Лен](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B0%D0%BD-%D0%9C%D0%B0%D1%80%D0%B8_%D0%9B%D0%B5%D0%BD) — основатель [супрамолекулярной химии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F) ввёлтермины «самоорганизация» и «[самосборка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BA%D0%B0)», вследствие необходимости описания явлений упорядочения в системах [высокомолекулярных соединений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) при равновесных условиях, в частности образование [ДНК](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%9D%D0%9A)" [3].

"Изучение вещества в [наносостоянии](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9D%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1), образование сложной структуры в процессе [кристаллизации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) без внешнего воздействия также потребовало описания этих явлений как самоорганизации. Но, в отличие от синергетического подхода, эти явления происходят в условиях, близких к [термодинамическому равновесию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%B8%D0%B5)".

Таким образом, равновесные фазовые переходы, такие как кристаллизация, также оказались самоорганизацией. Для устранения путаницы, [***феномен***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD) ***упорядочения в равновесных условиях часто определяют как консервативная самоорганизация, а в неравновесных условиях как динамическая самоорганизация.***

**КОНТИНУАЛЬНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ** (концепция эволюционного катализа).

Концепция эволюционного катализа, разработанная [А. П. Руденко](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%2C_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80_%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%84%D1%8C%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87), является альтернативной концепцией самоорганизации для биологических систем. В отличие от когерентной самоорганизации в диссипативных системах с большим числом элементов (макросистем), рассматривается континуальная самоорганизация для индивидуальных (микро-) систем. В рамках данного подхода определяется, что **самоорганизация как саморазвитие системы происходит за счёт внутренней полезной работы против равновесия.** Прогрессивная эволюция с [естественным отбором](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D1%82%D0%B1%D0%BE%D1%80) возможна только как саморазвитие континуальной самоорганизации индивидуальных систем. И это чрезвычайно важно, ибо создается согласованный путь перестройки масштабов самоорганизации от микро- к макромасштабу. Разномасштабность проявляется, прежде всего, при анализе критических состояний эволюционирующих сложных динамических систем. Действтельно, даже на уровне возникновения Вселенной мы имеет сочетание переходов разного масштаба. Так на уровне образования протонов и нейтронов, на раннем этапе развития Вселенной, (до 10-35 сек) работает механизм диадных и триадных сочетаний кварков, для образования гигантских молекулярных облаков, а дальше по времени от начала Большего Взрыва на космическом уровне возникает макромасштабная самоорганизация звезд, галактик, планет и т.д. из гигантских молекулярных облаков и что характерно — это переходы из хаоса в системный порядок.

**ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

"Теория динамических систем берет свое начало с конца 18 века, когда Анри Пуанкаре (французский ученый - математик, физик, философ) впервые сформулировал задачу о нелинейном взаимодействии трех космических тел "Солнце-Земля, Луна" (1892 г.).

В работе на соискание премии короля Норвегии Оскара Анри Пуанкаре установил причину неинтегрируемости знаменитой проблемы трёх тел — сложное поведение сепаратрис гиперболических особых точек: «Если попытаться представить себе фигуру, образованную этими двумя кривыми [устойчивым и неустойчивым многообразиями седловой особой точки] и их бесчисленными пересечениями, каждое из которых соответствует двояко-асимптотическому решению, то эти пересечения образуют нечто вроде решётки, сети с бесконечно тесными петлями; ни одна из двух кривых никогда не должна пересекать самоё себя, но она должна навиваться на самоё себя очень сложным образом, чтобы пересечь бесконечно много раз все петли сети.

 Задача была решена только почти через столетие Григорием Перельманом. Тем не менее, интерес к нелинейному численному моделированию состояний таких систем стал развиваться во многих разделах науки, например, за счет исследований в области теорий фазовых переходов (Ландау), теорий химической (Руденко А.П. (1960), динамической и термодинамической самоорганизации (Пригожин И.Р.(1962)). Это начало эпохи развития нелинейной динамики и междисциплинарных подходов" [5].

Под динамической системой условились понимать систему любой природы (физическую, химическую, биологическую, социальную, экономическую и т.д.), состояние которых определяется набором величин, называемых параметрами состояния, или динамическими переменными, такими, что их значения в любой последующий момент времени по определённому правилу получаются из их значений в начальный момент времени. Это правило осуществляет оператор эволюции.

Нелинейная динамика использует при изучении систем нелинейные модели — чаще всего дифференциальные уравнения и дискретные отображения.

"Параллельно начались разработки теории автоколебаний и автоволн (А. Лотка 1910, Ван Дер Поль 1920). У. Брей в 1921 г. описал первую колебательную жидкофазную реакцию разложения пероксида водорода), Далее последовали исследования Л.И. Мандельштама, А.А. Понтрягина, А.А. Витта, Н.М. Крылова, А.А. Андронова – до 1960 г. Еще позже С.П. Курдюмов и Е.Н. Крылов – анализируют режимы с обострением.

В 1952 г. разработаны нелинейные структуры А.Тьюринга; стационарная двумерная структура нелинейной динамики, возникающая вследствие волновых свойств реакционно-диффузионных сред. (Нелинейное уравнение диффузии, уравнение Колмогорова-Петрова-Пискунова (КПП))" [5].

Важнейшие методические модели и теории середины 20 века - это **Структуры Тьюринга**. Уравнение Гинзбурга-Ландау.  **Брюсселятор** Пригожина.

"В это же время Б.П. Белоусов (1964 г). А.М. Жаботинский создают **теорию химических автоколебаний.** Более поздние исследования показали нелинейность переднего фронта таких волн. Для динамических систем исследуются сложности фазовых траекторий и создаются новые подходы рядом ученых – А.Н. Колмогоров (1954), Д.К. Мозер (1962), В.И. Арнольд (1963)"и др. [5].

Исследуется функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы. Почти одновременно идет развитие подходов к анализу турбулентности:

1950 г. – Ландау Л.Д. и Хопф исследуют возбуждение вторичных осцилляций через каскады бифуркаций. В 1971 г. Захаров и Шабат создают теорию уединенных волн (солитонов).

**Солито́н** — структурно устойчивая уединённая волна, распространяющаяся в нелинейной среде и это знаменует начало становления теории кумулятивных процеов. **Солитоны** ведут себя подобно частицам.

После 1960 гг. – возникает осознание **возможности описания неупорядоченных структур системами простых уравнений** и в 1964 г. создается качественная теория динамических систем (А.М. Шарковский).

Далее в динамических системах на 1-м этапе исследуются **сложности фазовых траекторий.** Для этого задается функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы.

В 1970 г. Э. Лоренц исследует фазовую траекторию аттрактора для описания атмосферы и вводит понятие странный аттрактор, а Рюэль и Таккенс – описывают турбулентность;

**1978 г. – М. Файгенбаум** – создает 1-й сценарий перехода динамических систем к хаосу через удвоение периодов;

1990 г. – разработан генератор с хаотическим аттрактором (Анищенко-Астахова);

2000 г. - экспериметальное доказательство сценария хаотизации (М.М. Слинько, А.А. Ухарский, Н.Егер)

"Утверждаетсяпонятие **Аттрактор** - это такие состояния системы, через которые она стремится попасть в зону центра из любого своего состояния (attract - это "притягивать", "привлекать"). Хороший пример - рулетка. Как бы крупье не бросал шарик, он в итоге прибьётся в одну из 38 лунок. Вот эти лунки и будут аттракторами для системы колесо - шарик.

Аттракторы вида ***узел, фокус и предельный цикл*** являются математическими ***образами установившихся режимов*** в динамических системах.

В 2002 г. Н.А. Магниций, Сидоров – создают универсальный сценарий перехода к хаосу в системах дифференциальных уравнений с диссипацией, включая уравнения с запаздыванием и параболические системы уравнений. Начало - это сценарий Файгенбаума, далее субгармонический каскад Шарковского до 3-го периода и далее гомоклинический каскад бифуркаций устойчивых циклов. Для систем размерностью более 3 участвуют двумерные торы" [5].

Почти одновременно был разработан ряд сценариев перехода к хаосу (рис.1) и параллельно шла разработка различных междисциплинарных направлений также базирующися на принципах спмоорганизации для разных масштабов. При этом хаос рассматривается как более высокая степень самоорганизации.

Согласно рисунку 1 переход к хаосу часто происходит через перемежаемость. Остановимся на этом подробнее [7]. Под перемежаемостью принято понимать такой вид сигнала, в котором случайным образом чередуются длинные регулярные (ламинарные) фазы (так называемые окна) и относительно короткие нерегулярные всплески. Такие сигналы обнаруживаются во многих экспериментах.

Замечено также, что число хаотических всплесков нарастает при увеличении внешнего параметра, а это означает, что перемежаемость представляет собой непрерывный переход от регулярного движения к хаотическому. Механизмы этого явления, предложен Помо и Манневилем (Pomeau, Manneville, 1979). Перемежаемость 1-го рода — следствие обратной [касательной](http://edu.alnam.ru/book_kram.php?id=154) бифуркации (рис.1). Переход к хаосу через перемежаемость обладает универсальными свойствами и представляет собой один из редких примеров точного решения линеаризованных ренормгрупповых уравнений. Перемежаемость есть универсальное объяснение происхождения фликкер-шума в нелинейных системах. Помо и Манневиль так объяснили это поведение:

Устойчивым колебаниям соответствует устойчивая неподвижная точка на отображении Пуанкаре. Эта точка становится неустойчивой. Так как это может произойти лишь тремя путями (во всех трех случаях модули [собственных значений](http://edu.alnam.ru/book_math_al_3.php?id=43) линеаризован- ного отображения Пуанкаре больше единицы), то принято различать три рода перемежаемости.



***Рис.1.*** *Основные сценарии перехода к состоянию хаоса.*

Помимо известных всем синергетики Г.Хакена и теории диссипативных структур И.Пригожина возникают разноплановые междисциплинарные теории динамических систем, в которых по-разному рассматривается явление самоорганизации.

**1. ТЕОРИИ САМОРАЗВИТИЯ ОТКРЫТЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

1. 1964—1969 гг. - А.П. Руденко – установление 2-х типов самоорганизации (континуальная для индивидуальных микросистем ЭОКС и когерентная – аналог Хакеновской для макросистем). ЭОКС = ЭКС + центры катализа + комплекс постоянных внешних условий.

**2. ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ –** Её начало от теории бифуркаций динамических систем Пуанкаре и Андронова. Автор – Арнольд В.И.

**3.** После 1955 и 1970 г. - **теория особенностей гладких отображений Уитни и теория бифуркаций Тома** (1959), Дж. Мазера (1968), теория катастроф В.И. Арнольда (1990).

**4. ТЕОРИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ ГИПЕРЦИКЛОВ.** Авторы - М. Эйген и П. Шустер (1982 г.) – концепция образования упорядоченных макромолекул из неупорядоченного состояния на основе матричной репродукции и естественного отбора.

**5. ИСКУССТВЕННАЯ ЖИЗНЬ** - игровые автоматы (Цетлин, 1969), **самовоспроизводящиеся автоматы (Нейман, 1971), компьютерное моделирование** эволюции (Кулагина, Ляпунов, 1969), теория NK автоматов С. Кауфмана (1986 -1991). Это сеть из N булевых логических элементов. Впервые получено представление о самоорганизации генного арсенала и путях его развития в рамках эволюции. Пролог к новому пониманию теории эволюции Биосферы.

**6. АУТОПОЕЗИС** – (1972-2001), Матурана 1995; Франсиско Варела 1995, и Рикард Урибе 2001). Это обобщенный организационно замкнутый процесс для живых организмов как динамической автономии. Это тип самовоспроизводства элементов, составляющих данную сеть.

**7.** **АНАЗИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ** с помощью корней обобщенного уравнения золотых пропорций **–** В.С. Иванова – 1992 г.,

**8**. **ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ.** Работа посвящена анализу алгоритма структурно-фазовых переходов –О.П. Иванов, В.С. Иванова 2003 г.; О.П. Иванов, М.А. Винник, 2019 г.

 9. **КУМУЛЯТИВНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ** 2000 г.Это из теории кумулятивно-диссипативных процессов **—** Авторы – Ф.И. Высикайло О.П. Иванов. По этой теме Ф.И. Высикайло защитил докторскую диссертацию на физфаке МГУ, а О.П. Иванов выпустил учебник “Опасные природные процессы” для курсантов, студентов и слушателей АГЗ МЧС (Академия гражданской защиты МЧС РФ).

 На основе этих исследований выделен класс самоорганизаций в кумулятивных процессах. Его особенность состоит в том, что он оперирует с множествами простых элементов, которые участвуют в создании высокоэнергетичных сложных систем во всех видах материи от вещества до плазмы в зоне действия законов кумуляции.

Параллельно исследуются явления фликкер-шума в качестве маркера динамических переходов и фрактальные особенности структурно-фазовых переходов.

Выяснилось, что вопреки традиционным представлениям о хаосе как о синониме беспорядка хаос может обладать тонкой и сложной организацией. Ярким примером хаоса, наделённого тонкой структурой, могут служить самоподобные и самоаффинные объекты, получившие с лёгкой руки Бенуа Мандельброта название фракталы и мультифракталы.

Бенуа Мандельброт предложил научному миру, по существу, новую неевклидову геометрию — неевклидову не в смысле отказа от аксиомы о параллельности, принятой в традиционной евклидовой геометрии, а замены её другой аксиомой, как это было сделано в геометрии Н.И. Лобачевского и Я. Бойля, а в смысле отказа от незримо присутствовавшего в «Началах» Евклида требования гладкости; геометрии — в соответствии с определением геометрии как науки об инвариантах группы преобразований, данным в 1872 г. в «Эрлангенской программе» Феликса Клейна, — фрактальная геометрия занимается изучением объектов, инвариантных относительно самоаффинных и самоподобных преобразований, образующих группы.

Бенуа Мандельброт создал неевклидову геометрию негладких, шероховатых, пористых, трещиноватых, извилистых и т.д. объектов, бывших до этого своего рода математическими критериями. По молчаливому уговору, ранее такие объекты исключались из рассмотрения в пользу более «благообразных» усреднённых, сглаженных отполированных объектов. Между тем именно такие неправильные объекты составляют большинство объектов, встречающихся в природе. По Галилею «Философия записана в этой огромнейшей книге Природы, которая всегда открыта перед нами, но понять написанное невозможно, пока не изучишь язык и не распознаешь письмена, которыми она написана. А написана она на математическом языке, и письменами её являются треугольники, круги и другие геометрические фигуры...», из его сочинения «Пробирных дел мастер» ныне надлежит трактовать так: «...треугольники, круги, фракталы и другие геометрические фигуры...»

Сам Бенуа Мандельброт охарактеризовал созданную им теорию как морфологию бесформенного: «Почему геометрию часто называют «холодной» и «сухой»? Одна из причин заключается в её неспособности описать форму облака, горы, береговой линии или дерева. Облака — не сферы, горы — не окружности, древесная кора — не гладкая, молния распространяется не по прямой.

Сверхсложная геометрия фрактальных сред накладывает свой отпечаток на разыгрывающиеся в них процессы. На фракталах по-новому, чем в традиционных сплошных средах, происходит диффузия, протекают химические реакции, происходит рассеяние акустических и электромагнитных волн. Но фракталы с их самоподобной и самоаффинной структурой служат регулярными моделями случайных (хаотических) сред — своего рода аналогом вполне интегрируемых систем классической механики.

Далее мы рассмотрим следующий принципиально новый класс процессов и структур, самоорганизующихся по своим законам и широко распространенных в Природе. Весь видимый мир систем возник благодаря этой категории процессов. Все опасные природные процессы с их экстремальными параметрами принадлежат этой категории.

Главная особенность — это подчинение законам кумуляции множества элементов.

 **ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ КУМУЛЯЦИИ [6,9]**

Мир систем возник лишь благодаря кумулятивным процессам, в основе которых лежат законы кумуляции:

1. Закон всемирного тяготения F ~ 1/r2;

2. Закон Кулона F ~ 1/r2;

3. Для точечных, или сводящихся к точечным, гравитационных и кулоновских аттракторов зависимость приведенной силы от расстояния до аттрактора можно записать в виде:

-∇Uq(r) = Fq(r) = - r/|r|3 ~ 1/S(r), (1)

где S(r) ⎯ площадь сферы, окружающей аттрактор, на которой расположена точка r.

В ней со стороны аттрактора притяжения действует приведенная обобщенная сила Fq(r) ~ 1/S(r).

4. Кумуляцию различных реальных сил и потенциальных полей можно представить в виде: ∇Uq(r) = Fq ~ 1/rβ, где Uq(r) ⎯ обобщенный потенциал. Аналогичным образом кумулируют и вихревые или не центральные силы;

5. Скорость роста молнии или тектонической трещины при фазовом переходе определяется соотношением: L(t) = L0exp(t/τ), где τ постоянная времени, определяемая энергией, идущей на формирование единицы длины обобщенной трещины или элемента молнии. Скорости продольного распространения обобщенной трещины связаны условием r/L кумуляции (VL = csL/r, где cs – скорость звука или ударной волны) и могут значительно превосходить скорость звука.

6. Степенными зависимостями описываются: распределение людей по доходам (закон В. Парето), распределения слов в тексте (закон Ципфа), термодинамические и гидродинамические функции при фазовых переходах второго рода и при турбулентных течениях.

7. Для кумулятивных явлений со степенными зависимостями характерны взрывные

профили параметров энергомассовых потоков, схлопывающиеся к центру кумуляции (аналогия с дельта-функциями).

Особенность кумулятивной самоорганизации в том, что множество элементов сначала объединяется в систему, которая когерентно подчиняется законам кумуляции (молнии, тектонические зоны разломов, смерчи, торнадо, циклоны, джеты пульсаров и т.д.).

Следует также отметить, что несколько раньше академиком А.А. Красовским (около 40 лет назад) была поставлена крупная проблема создания физической теории управления.

 **ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ** — базируется на фундаменте физических законов, учете ресурсов и приоритетах реального мира и также стремится возсоздать условия самоорганизации [6,8]. Для этого -

 "Были введены такие базовые понятия, как «притягивающие инвариантные многообразия», «макропеременные», «принцип расширения - сжатия фазового пространства». Они, как оказалось, идентичны основным понятиям синергетики. Например, теории самоорганизации, а именно: «аттракторам», «параметрам порядка» и «принципу подчинения». Более того, введенные нами понятия были исходно положены в основу синергетической теории нелинейного системного синтеза” [6,8].

Эта теория была сначала обобщена в монографиях в форме метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), а затем в монографии (1973 г.), в которой нелинейный системный синтез фактически приобрел завершенную форму в виде СТУ, построенной по схеме: «инварианты - самоорганизация - синтез», т.е. полностью в русле идеологии синергетики. В последующие годы СТУ и метод АКАР получили дальнейшее развитие применительно, в первую очередь, к решению сложных прикладных нелинейных проблем управления в машиностроении и энергетике" [6,8].

На основе метода АКАР были решены нелинейные проблемы синтеза систем скалярного, векторного, разрывного, дискретного, селективно-инвариантного, многокритериального, терминального и адаптивного управлений многомерными и многосвязными объектами.

"Понятие об организации системы предполагает определенное согласование состояний и деятельности ее подсистем и составляющих элементов. Способность к адаптации путем самоорганизации основывается как на множественности элементов системы и разветвленности связей между ними, способствующих возникновению целостности, так и на наличии гибкого взаимодействия между элементами по типу обратных связей. Отрицательные обратные связи (ОС) обеспечивают стабильность функций системы, постоянство ее параметров, устойчивость к внешним воздействиям. Положительные ОС играют роль усилителей процессов и имеют особое значение для развития, накопления изменений. Наличие отрицательных и положительных ОС приводит к возможности развития по некоторому закону с использованием внешних и внутренних ресурсов" [6].

Сложная динамическая организация целенаправленной функционирующей системы требует непрерывного управления, без которого система не может существовать. Особенность этого управления состоит в том, что оно служит причиной ряда процессов в самой системе и, прежде всего процессов внутреннего саморегулирования по законам организации системы [4]. Управляющие моменты принято рассматривать в проекциях на оси связанной системы координат.

В настоящее время активно развивается анализ структурно-фазовых переходов и принципов обратной связи для целей управления трендами эволюции сложных систем и превентивной зващиты социума от опасных природных процессов путем воздействий в акупунктурных зонах структурно-фазовых переходов [5].

**ЛИТЕРАТУРА**

1.*Кант И.* [Всеобщая естественная история и теория неба](http://www.philosophy.ru/library/kant/nebo.html) [Архивная копия](http://web.archive.org/web/20061231134135/http%3A/www.philosophy.ru/library/kant/nebo.html) от 31 декабря 2006 на [Wayback Machine](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0#%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B);

2.*Ashby W. R.* Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. — v. 37. — p. 125—128;

3.Gerasev A.P. // J. Non-Equilib. Thermodyn, 2011, 36, P. 55-73. Герасев А. П. // [Успехи физических наук](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%85%D0%B8_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA), 2004, 174, № 10. С. 1061—1087;

4. https://studbooks.net/;

5. О.П. Иванов, М.А. Винник. Кумулятивно-диссипативное расширение синергетики //Вестник РУДН. Сер. философия. -2008, №2 - С.78-85.

6. http://stu.alnam.ru/book\_dch-16;

 7. http://stu.alnam.ru/book\_dch-16;

8. <https://lib-bkm.ru/12520>;

9. О.П. Иванов, Ф.И. Высикайло. Кумулятивно-диссипативные процессы и структуры (новое в синергетике). - М.: Сб. Синергетика геосистем. -2007, с.36-42.

**THE WAYS OF SELF-ORGANIZATION OF COMPLEX SYSTEMS**

**Ivanov O. P.,**kand.geol.-min. Sciences, leading researcher of Moscow state University MZ, Rukin M.D.**,** d. t.c, leading researcher of Moscow state University MZ

**Annotation.** The work is devoted to the analysis of the ways of development of the theory of self-organization in the world of complex systems. This is due to the fact that the modern worldview is based on the concepts of a complex world and, accordingly, on the interactions of complex systems such as nonlinear, non-equilibrium and chaotic States in the process of evolution. The paper summarizes not only all types of self-organization known at this time, but also reflects the degree of participation of authors in this topic. In addition, the type of cumulative self-organization is considered separately.

**Key words:** nonequilibrium, nonlinearity, structural-phase transition, bifurcations, stability, attractor, evolution, intermittency, chaos, order, cumulation.

**REFERENCES**

1. I. Kant Vseobshchaya estestvennaya istoriya i teoriya neba Arkhivnaya kopiya ot 31 dekabrya 2006 na Wayback Machine;

2. W. R. Ashby Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. — v. 37. — p. 125—128;

3. A.P. Gerasev // J. Non-Equilib. Thermodyn, 2011, 36, P. 55-73. A. P. Gerasev // Uspekhi fizicheskikh nauk, 2004, 174, № 10. S. 1061—1087;

4. https://studbooks.net/;

5. http://stu.alnam.ru/book\_dch-16;

6. http://stu.alnam.ru/book\_dch-16;

7. https://lib-bkm.ru/12520.