

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

*Истина всегда рождается как ересь,  
а умирает как предрассудок*

*Георг Вильгельм Фридрих Гегель*

**№ 4 (45), 2022**

В НОМЕРЕ:

В статье рассматривается взаимосвязь процессов самоорганизации, саморазвития и прогрессивной химической эволюции.

Проведен геодинамический анализ наводнений на реках.

Рассмотрена иерархия процессов адаптации систем грунта к сейсмическим колебаниям, выделены критические амплитуды колебаний, определяющие переход от периодической к квазипериодической перестройке структур при развитии землетрясения.

Рассмотрены перспективы развития междисциплинарности.



Подписной индекс: 88852  
Издательство АО «Институт фундаментальных системных исследований»  
140080, Московская обл., г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1  
Тел.: +7 (495) 941-62-72  
E-mail: [mail@systemology.ru](mailto:mail@systemology.ru)

---

# СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

---

Октябрь – Декабрь

№ 4 (45), 2022

---

**Главный редактор** Иванов О.П. (к.г.-м.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия)

**Зам. главного редактора** Князева Е.Н. (д.филос.н., профессор, НИУ ВШЭ, Москва, Россия)

**Ответственный секретарь** Старцев В.В. (Институт системологии, Лыткарино, Россия)

### *Редакционный Совет*

**Боголепова И.И.** (академик РАН, д.мед.н., проф., зав.лаб. научного Центра неврологии РАМН, Москва, Россия); **Гершензон К.** (д.ф.-м.н. (PhDr), проф. Национального автономного университета города Мехико, Мексика); **Эрди П.** (д.ф.-м.н. (PhDr), Центр по исследованию сложных систем в Колледже Каламазу, штат Мичиган, США); **Игамбердиев А.У.** (д.б.н.(PhDr), проф. факультета биологии Университета Ньюфаундленда, Канада); **Майнцер К.** (д.филос.н.(PhDr), зав. каф. философии и теории науки Технического университета Мюнхена, президент Германского общества сложных систем и нелинейной динамики, Мюнхен, Германия); **Малинецкий Г.Г.** (д.ф.-м.н., проф., Институт прикладной математики (ИПМ) им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия); **Панин В.Е.** (академик РАН, д.ф.-м.н., проф., Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия); **Поспелов И.Г.** (чл.-кор. РАН, д.ф.-м.н., проф., зав. отделом Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия); **Хофкирхнер В.** (д.филос.н. (PhDr), президент Центра Берталанфи по изучению науки о системах, Вена, Австрия)

### *Редакционная коллегия*

**Голиченков В.А.** (д.б.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Клиге Р.К.** (д.геогр.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Куркина Е.С.** (д.ф.-м.н., МГУ, Москва, Россия); **Магницкий И.А.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Мелехова О.П.** (д.б.н., МГУ, Москва, Россия); **Ризниченко Г.Ю.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Сафьянов Г.А.** (д. геогр. н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Суриков В.В.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Чуличков А.И.** (д.ф.- м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Шанявский А.А.** (д.т.н., проф., ФАУ «Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте», Москва, Россия), Кирилишина Е.М. (к.г.-м.н., МГУ, Москва, Россия; технический редактор); Наместникова А.В. (Институт системологии, Лыткарино, Россия; выпускающий редактор).

---

УЧРЕДИТЕЛЬ: АО «Институт фундаментальных системных исследований», 2020

Междисциплинарный научный журнал «СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-42729 от 25.11.10 г. Регистрационный номер внесения изменений в запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73604 от 31.08.2018 г. ISSN № 2220-8569

---

Сдано в набор 20.12.2022. Подписано в печать 27.12.2022. Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура тайме. Печать лазерная. Усл. печ. л. 10,8. Тираж 60 экз. Заказ 2861. Цена свободная. Издательство: АО «Институт фундаментальных системных исследований». Адрес редакции и издательства: 140080, Московская обл., г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1, Тел.: +7(495) 941-62-72; [thecomplexsystems.ru](http://thecomplexsystems.ru); e-mail: [mail@systemology.ru](mailto:mail@systemology.ru) Подписной индекс 88852

Периодичность: 4 раза в год

---

Компьютерная верстка: АО «Институт фундаментальных системных исследований» Типография АО «ВПК «НПО машиностроения», 143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, 33

---

© АО «ИФСИ», 2022

© Коллектив авторов, 2022

Перепечатка и перевод статей - только со ссылкой на журнал

## **СОДЕРЖАНИЕ**

---

### **Фундаментальные исследования**

---

- Руденко А.П.* Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем 4
- Иванов О.П.* Геодинамический анализ наводнений на реках (кумулятивно-диссипативный подход) 23
- 

### **Новые идеи, подходы**

---

- Иванов О.П., Иванова О.П.* Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем 42
- 

### **Эксперименты, открытия, практика**

---

- Иванов О.П.* Перспективы развития междисциплинарности 67
-

## **CONTENTS**

---

### **Basic researches**

---

*Rudenko A.P.* Self-organization and progressive chemical evolution of open catalytic systems **4**

*Ivanov O.P.* Geodynamic analysis of river floods (cumulative-dissipative approach) **23**

---

### **New ideas, approaches**

---

*Ivanov O.P., Ivanova V.S.* Nonlinear discrete seismology in the light of universal chaotic dynamical systems **42**

---

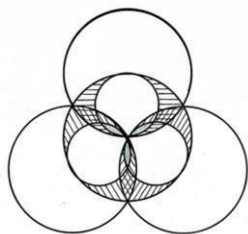
### **Experiments, discoveries, practice**

---

*Ivanov O.P.* Prospects for the development of interdisciplinarity **67**

---

УДК 524.6-36-54; 544.431.8



## САМООРГАНИЗАЦИЯ И ПРОГРЕССИВНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ОТКРЫТЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Руденко А.П., докт. хим. н., проф МГУ*

**Аннотация.** Научно-теоретическое существование явления самоорганизации неравновесных открытых систем как процесса неравновесного упорядочения было дано И.Р. Пригожиным [1, 2] и автором настоящей статьи [3, 4] практически в одно и то же время независимо друг от друга. Под *самоорганизацией* нами подразумевался процесс с диаметрально противоположной энергодинамической направленностью, чем процесс обычной *организации*, подчиняющийся принципу Больцмана (стремление системы к максимуму энтропии и минимум свободной энергии). Однако подходы к описанию физической сущности явления у нас с Пригожиным оказались альтернативными; разными были характер исследования и природа объектов, где оно наблюдалось. Поэтому развитие исследований в этих двух направлениях практически происходило независимо и не пересекалось, пока не возникла необходимость сопоставления этих двух подходов в решении вопросов связи процессов самоорганизации и саморазвития и взаимоотношения самоорганизации и прогрессивной химической эволюции, приводящей к возникновению жизни. Сопоставление этих двух подходов в аспекте решения указанных задач, проведенное в [14, 5], выявило их альтернативность и разные эвристические возможности.

**Ключевые слова:** неравновесность, самоорганизация, энтропия, проявления эвристика.

В подходе Пригожина исследовались внешние самоорганизации макроскопических открытых систем разной природы (физической, химической, биологической) вдали от равновесия, возникающей в стационарном состоянии при минимуме производства энтропии. Согласно этому подходу, условием возникновения самоорганизации принималась необратимость процесса, причиной и мерой - уменьшение производства энтропии, а движущей силой - отрицательная энтропия, поглощаемая открытой системой из среды.

В нашем подходе исследовались внутренние механизмы динамического существования и самоорганизации неравновесных индивидуальных (микроскопических) каталитических систем на молекулярном уровне в ходе обмена веществ богатой энергией базисной реакции. При этом с использованием кинетических и энергетических параметров на основе общей мощности обменного

## ***Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем***

процесса давалось количественное описание динамического существования и устойчивости неравновесного кинетического континуума веществ и элементарных реакций, образующегося в химическом акте, а на основе полезной мощности обменного процесса, характеризующей внутреннюю полезную работу, направленную против равновесия, давалось описание *континуальной самоорганизации* и определялась мера самоорганизации.

Согласно этому подходу, при взаимодействии индивидуальных каталитических систем в их множествах (макроскопическая система) возникает самоорганизация другого типа, такого же, как и в случае диссипативных структур Пригожина. Такая самоорганизация в соответствии с определением, даваемым Хакеном [13], является кооперативным эффектом взаимодействия множества индивидуальных систем, приводящим к когерентности их поведения. Поэтому в [6] предложено ее называть, в отличие от континуальной самоорганизации индивидуальных микросистем, *когерентной самоорганизацией коллективных макросистем*.

Оба типа самоорганизации имеют одинаковые условия возникновения - неравновесие, одинаковые причины и меры самоорганизации - затрата энергии обменного процесса на внутреннюю полезную работу против равновесия, одинаковые движущие силы - свободная энергия обменного процесса. В то же время неравновесные системы, в которых возникают эти типы самоорганизации принципиально различаются по ряду характеристик и свойств. В частности, способностью к саморазвитию и прогрессивной эволюции с естественным отбором обладают только индивидуальные микрообъекты с континуальной самоорганизацией.

В соответствии с развиваемыми взглядами, *сущность прогрессивной эволюции состоит в саморазвитии континуальной самоорганизации индивидуальных объектов* при положительном приращении общей и полезной мощности обменного процесса, причем континуальная самоорганизация, отражающая неповторимые видовые признаки систем на каждой стадии и уровне эволюции, является главным условием не только динамического существования каждого вида индивидуальных систем, но и их прогрессивной эволюции с естественным отбором наиболее прогрессивных изменений.

Как показано в [5], подход Пригожина не дает возможности перейти с единых теоретических позиций от рассмотрения когерентной самоорганизации макросистем к континуальной самоорганизации индивидуальных микросистем, от описания внешних проявлений самоорганизации к пониманию ее внутреннего молекулярного механизма, причин и движущих сил, а также к рассмотрению связи самоорганизации и саморазвития. Причиной этому послужил неудачный выбор параметров неравновесной открытой системы для описания самоорганизации и связанное с ним неадекватное действительности представление о физической сущности рассматриваемого явления. Из уравнения, характеризующего потоки энергии, освобождаемые обменным процессом, и трансформируемые в неравновесной открытой системе в стационарном состоянии в связи с

самоорганизацией,

$$E = \Theta + Q \quad (1)$$

видно, что действительно могут быть два разных подхода для описания явления самоорганизации и построения неравновесной термодинамики, в одном из которых самоорганизация описывается прямо тем параметром, которым определяется, а в другом - лишь косвенно. Первый связан с использованием потока энергии  $\Theta$ , идущей на внутреннюю полезную работу против равновесия, которая и приводит к самоорганизации (подход Руденко, неравновесная термодинамика рабочих процессов); второй связан с некомпенсированной теплотой Клаузиуса  $Q$ , диссипацией, характеризующей самоорганизацию косвенно, поскольку  $Q$  является дополнительным членом к  $\Theta$  в уравнении (1) (подход Пригожина, неравновесная термодинамика диссипативных процессов). Каждый из этих подходов, как уже говорилось, приводит к разным представлениям о физической сущности явления самоорганизации, в большей или меньшей степени адекватным действительности, и дает неодинаковые возможности для описания двух типов самоорганизации и прогрессивной эволюции с единых позиций.

Ниже дается краткое изложение основных положений теории самоорганизации и саморазвития элементарных открытых каталитических систем (ЭОКС), лежащих в основе концепции эволюционного катализа [3, 4] и общей теории прогрессивной химической эволюции и биогенеза [6-8], которые дают возможность подойти к решению указанных проблем с единых позиций при рассмотрении специфических свойств конкретных объектов химии.

**Возникновение порядка из хаоса (упорядочение хаоса в химии).** Сам факт существования в химии безактивационных и активационных процессов свидетельствует о том, что переход от хаоса к порядку (от совокупности несвязанных компонентов в систему, где эти компоненты связаны между собой) возможен в двух принципиально различающихся направлениях: в направлении равновесного и -неравновесного упорядочения. Равновесное упорядочение, происходящее в соответствии с принципом Больцмана

$$S = k_B \log P \rightarrow \max; G = H - \Delta T \cdot S \rightarrow \min \quad (2)$$

и сопровождающееся выделением энергии ( $\Delta G < 0$ ), будем называть *организацией*. Неравновесное упорядочение, происходящее в соответствии с принципом максимальной полезной работы при максимальном рассеянии свободной энергии обменного процесса

$$I = E > 0; I \cdot r = \Theta > 0; I \cdot t \rightarrow \max; \quad (3)$$

(при  $\Theta < E$ ;  $0 < r < 1$ ) и сопровождающееся поглощением энергии ( $\Theta > 0$ ) на внутреннюю полезную работу против равновесия, будем называть *самоорганизацией*.

Процесс самоорганизации имеет противоположную процессу организации энергодинамику. Процесс самоорганизации отличается от процесса организации не только тем, что в первом случае при упорядочении хаоса энергия поглощается ( $\Theta > 0$ ), а во втором выделяется ( $\Delta G < 0$ ), но и

## **Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем**

направленностью изменений степени неравновесия системы

$$\rho = Y - Y_t, \quad (4)$$

где  $Y$  - предельно возможная,  $Y_t$  - текущая глубина превращения. При самоорганизации направленность изменений  $\Delta\rho \uparrow$  (от равновесия к неравновесию), а при организации -  $\Delta\rho \downarrow$  (от неравновесия к равновесию). Процессы самоорганизации и организации имеют разную динамику. При этом после завершения образования объекта с неравновесной организацией требуется затрата энергии, пропорциональная времени существования этого объекта, и он сохраняет свою исходную динамичность. В то же время после завершения образования объекта с равновесной организацией, дальнейшее его существование не сопровождается ни затратой, ни выделением энергии и он теряет динамичность своего образования и становится статическим объектом.

Как следует из сопоставления энергодинамики безактивационного и активационного химических процессов, оба эти химические процесса в конце концов приходят к равновесию и образованию продуктов с равновесной структурной организацией (стабильных молекул, комплексов, полимеров, кристаллов). Однако в активационном процессе вначале образуется объект с неравновесной структурной организацией, распад которого и дает конечные равновесные продукты. Все такие объекты химии, воспринимавшиеся ранее в химической кинетике как "переходные состояния", согласно сказанному выше, являются результатом процесса самоорганизации. Активация же является временным удержанием части освобождаемой в процессе энергии и должна измеряться величиной  $\Theta$ . Энергия же активации, рассматриваемая в кинетике, связана с  $\Theta$  следующим образом

$$\varepsilon = E - \Theta = Q,$$

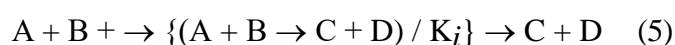
т.е. коррелирует с некомпенсированной теплотой необратимого процесса.

**Элементарные динамические объекты химии с неравновесной самоорганизацией вещества.** Если рассматривать не суммарный химический процесс в макросистеме, а реальное его осуществление в виде дискретных химических актов, а так называемые переходные состояния реакции рассматривать в полной динамике их образования и релаксации, включая в них и продукты реакции, приходим к представлению об элементарной химической системе (ЭХС). Все ЭХС являются объектами с неравновесной структурной организацией, т.е. самоорганизованными объектами.

В химии имеются два возможных вида ЭХС - без участия и с участием катализаторов в химическом акте - элементарные некаталитические системы (ЭНС) и элементарные каталитические системы (ЭКС), соответственно. Так как в определенном объеме возможно протекание цепочки последовательных химических актов за счет поступления исходных веществ и удаления продуктов (т.е. за счет образования открытой системы), следует различать также два возможных типа элементарных открытых химических систем (ЭОХС): некаталитических - ЭОНС и каталитических -

ЭОКС.

Образование любых этих ЭХС и ЭОХС связано с неравновесным упорядочением (самоорганизацией всех веществ и элементарных процессов в химических актах или в цепочках их последовательностей). Как показано в [5,7,8], особенности этого упорядочения, механизмы осуществления химической реакции, свойства образующихся систем, в том числе особенности поведения систем при взаимодействии с факторами внешней среды и способность к саморазвитию для ЭНС, ЭКС, ЭОНС и ЭОКС различны. Благодаря наличию в системе катализатора, привязывающего самоорганизацию ЭХС к определенной точке пространства (центр катализа), каталитические ЭХС отличаются от некаталитических не только тем, что в самоорганизации участвует кодирующий фактор, но и в точном воспроизведении самоорганизации каталитических актов (механизма процесса) во всей цепочке повторных актов и в генеалогической связи их в этой последовательности. Это выделяет ЭОКС как реально существующий в ходе базисной реакции объект с неравновесной структурной организацией, обладающий устойчивым неравновесием в течение всего времени его динамического существования, обеспечиваемого обменом веществ и энергии протекающей в нем базисной реакции



На схеме в фигурных скобках выделена ЭОКС, имеющая *кинетическую сферу*, включающую все детали механизма базисной реакции  $A + B \rightarrow C + D$ , и *конституционную сферу*, включающую центр катализа  $K_j$  и все другие сокатализаторы и внестехиометрические компоненты.

Системы типа (5) обладают рядом специфических свойств и особенностей, которые как показано [6, 9], ближе стоят к свойствам живых организмов и биологических систем, чем к свойствам равновесных статических объектов, не обладающих самоорганизацией, хотя ЭОКС являются неживыми объектами. С другой стороны, показано [5, 7], что именно ЭОКС, и только они, являются единственным типом объектов химии (и микроскопических и макроскопических), которые способны к прогрессивной химической эволюции, завершаемой возникновением жизни.

**Специфические свойства ЭКС и ЭОКС, их динамическое существование и устойчивость.** В ходе обмена веществ в (5) совершается базисная реакция со скоростью, определяемой абсолютной каталитической активностью

$$a = n/t = 1/t^* = \chi kT/h [c^{-1}] \quad (6),$$

где  $n$  - число каталитических актов на одном центре катализа в единицу времени;  $t^*$  - длительность одного каталитического акта;  $k$  - константа Больцмана;  $h$  - константа Планка;  $T$  - абсолютная температура.

Существование, самоорганизация и саморазвитие ЭОКС происходит при

$$T = \text{const} \quad (7).$$

В каждом каталитическом акте освобождается порция энергии базисной реакции

**Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция  
открытых каталитических систем**

$$f = -\Delta G^0 / \alpha N_A \text{ [Дж]} \quad (8),$$

где  $G^0$  - стандартный потенциал Гиббса,  $N_A$  - число Авогадро.

Для обеспечения не только существования и самоорганизации, но и саморазвития ЭОКС базисная реакция должна характеризоваться параметрами:

$$\Delta G^0 < 0; \lg K_p > 0 \quad (9),$$

т.е. быть экзергонической.

Интенсивность обменного процесса в ЭОКС

$$I = \alpha f = \chi / \alpha (k/hN_A) T |-\Delta G^0| = x H \text{ [Дж/с]} \quad (10),$$

(где  $x$  - безразмерная переменная, изменяющаяся от 0 до 1;  $H$  - размерная эволюционная постоянная) должна быть больше нуля

$$I > 0 \quad (11)$$

Выражение (11) является критерием динамического существования ЭОКС. При  $I = 0$  неравновесная ЭОКС гибнет, распадается на компоненты с равновесной структурной организацией. При

$$I = \text{const} > 0 \quad (12)$$

ЭОКС обладает стационарной устойчивостью тем большей, чем больше  $I$ , и проявляет гомеостазис, сопротивление к разрушающему действию случайных внешних факторов, в пре- делах ее адаптивных способностей.

Принцип гомеостазиса лежит в основе способности ЭОКС реагировать на воздействие случайных факторов внешней среды и связан со свойством целостности, функциональной неделимости, индивидуальности (элементарности) ЭОКС как микрообъекта.

При самоорганизации ЭКС и ЭОКС образуется единый кинетический континуум веществ и элементарных реакций (вещество - процесс). С учетом этого специфического признака самоорганизация индивидуальных ЭОКС может определяться как *континуальная*.

**Континуальная самоорганизация индивидуальных ЭКС, ЭОКС и ее мера.** Согласно теории, для каждой природы центра катализа  $K_j$  и базисной реакции имеет место определенный механизм обменного процесса в ЭОКС, устойчивый порядок ее функционирования, который отражается в соответствующей континуальной самоорганизации индивидуальной ЭОКС, имеющей видовые признаки в соответствии с каждым сочетанием  $K_j$  и базы или же в соответствии с природой изменений  $K_j \rightarrow K_{j+1}$  на постоянной базе. Другими словами, имеет место принцип оптимальной континуальной самоорганизации ЭОКС при протекании в ней базисной реакции на центре катализа  $K_j$  определенной природы.

В соответствии с критерием динамического существования (11) и устойчивости (12) и принципом неравновесного упорядочения (3), континуальная самоорганизация ЭКС (ЭОКС) имеет энергетическую природу и связана с внутренней полезной работой

$$\Theta > 0 \quad (13)$$

против равновесия, осуществляемой частью потока свободной энергии обменного процесса (1). Связь самоорганизации ЭОКС с  $\Theta$  очевидна, так как при  $\Theta \rightarrow 0$  самоорганизации нет, хотя устойчивость системы, определяемая

$$I \equiv E > 0,$$

может быть высокой, и система будет динамически существовать при минимальной самоорганизации, характеризуемой минимальным коэффициентом полезного использования энергии на внутреннюю полезную работу

$$r = \Theta/E \rightarrow 0 \quad (14)$$

С другой стороны, при  $\Theta \rightarrow \max$ , когда

$$r = \Theta/E \rightarrow 1 \quad (15)$$

самоорганизация ЭОКС максимально высока.

Следовательно, мерой самоорганизации является сама внутренняя полезная работа базисного процесса в ЭОКС против равновесия ( $\Theta$ ) или функции от нее ( $r$ ) и др. Самоорганизацию косвенным образом можно измерить диссипацией  $Q$  и связанными с нею функциями  $Q/T = S$ ,  $dS/dt = P$ ,  $TdS/dt = \Psi$ , используемыми в подходе Пригожина, так как член  $Q$  в уравнении (1) является дополнительным к  $\Theta$  и также в какой-то мере отражает самоорганизацию. При этом отсутствие прямого соответствия самоорганизации и диссипации будет не сильно заметно при соизмеримости мощностей потоков  $\Theta$  и  $Q$  в (1). Однако в ходе саморазвития ЭОКС, когда доли этих потоков изменяются в пользу  $\Theta$ , причем

$$\Theta \rightarrow E; Q \rightarrow 0; \eta = Q/E \rightarrow 0, \quad (16)$$

самоорганизация растет при уменьшении диссипации, что доказывает отсутствие прямой связи самоорганизации с диссипацией и одновременно свидетельствует о том, что необратимость не является условием самоорганизации. Ибо степень необратимости  $\eta$  при этом стремится к нулю, а самоорганизация не только не прекращается, а достигает максимальных значений.

Энергодинамика образования и релаксации неравновесной ЭКС в ходе ее континуальной самоорганизации выглядит следующим образом. В течение времени  $t^*$ , характеризующем длительность одного каталитического акта (собственное время существования ЭКС), происходит образование неравновесной организации, причем затрачивается поток энергии  $\Theta$  и бесполезно рассеивается поток  $Q$ . При полном исчерпании импульса освобожденной энергии  $E$  начинается стадия релаксации неравновесной организации ЭКС с образованием равновесных продуктов базисной реакции и диссипацией временно задержанной на полезную работу энергии  $\Theta$

$$\Theta = Q_{\Theta} = Q_{\Theta T} + Q_{\Theta X}, \quad (17)$$

где  $Q_{\Theta}$  - полезная диссипация;  $Q_{\Theta T}$  - поток теплового излучения черного тела;  $Q_{\Theta X}$  - поток

**Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция  
открытых каталитических систем**

характеристических излучений.

В ЭОКС происходит чередование стадий образования и релаксации ЭКС, при точном воспроизведении континуальной самоорганизации в каждом каталитическом акте и система приобретает свойство устойчивого неравновесия при динамическом существовании в ходе обмена веществ и энергии в базисной реакции.

В отличие от  $Q$  в (1) поток  $Q_{\Theta}$  в (17) является полезно рассеиваемой энергией, диссипирующей после совершения полезной работы, а кинетической сфере ЭОКС. При этом вся энергия  $\Theta$ , временно задержанная на совершение внутренней полезной работы, диссипирует. Однако если происходит эволюционное изменение ЭОКС (см. ниже), энергия  $\Theta$ , затрачиваемая на внутреннюю полезную работу, распределяется между кинетической и конституционной сферой

$$\Theta = (1 - p) \Theta + p\Theta, \quad (18)$$

где  $p$  - вероятность эволюционного изменения  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , причем после релаксации неравновесной организации диссипирует лишь энергия, затраченная на самоорганизацию кинетической сферы

$$(1 - p) \Theta = Q_{\Theta}, \quad (19)$$

в системе в виде неравновесно связанной внутренней энергии

$$p\Theta = U_{\Theta} \quad (20)$$

Учитывая, что поток освобождаемой в базисной реакции энергии

$$E = \Delta G^* \quad (21)$$

связан с потоком энтальпии  $\Delta H^{*0}$  и потоком равновесно связанной внутренней энергии  $T\Delta S^{*0}$  в условиях изотермичности можно описывать как динамическое существование ЭОКС, так и их самоорганизацию и саморазвитие в ходе эволюционных изменений природы  $K_i \rightarrow K_{i+1}$  при помощи соотношений неравновесной термодинамики (см. также [5]):

$$\Delta H^{*0} = \Delta G^{*0} - T\Delta S^{*0}$$

$$= E - T\Delta S^{*0}$$

$$= \Theta + Q - T\Delta S^{*0}$$

$$= Q_{\Theta} + Q - T\Delta S^{*0} \quad (22)$$

$$= \Theta(1 - p) + p\Theta + Q - T\Delta S^{*0}$$

$$= Q_{\Theta} + U_{\Theta} + Q - T\Delta S^{*0}$$

$$t^* = Q_{\Theta X} + Q_{\Theta T} + U_{\Theta} + Q - T\Delta S^{*0}$$

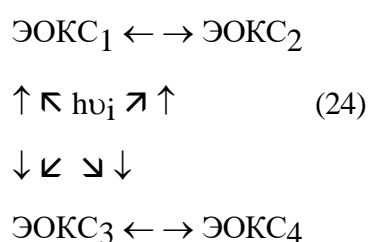
Как видно из последовательности стадий освобождения энергии обменного процесса и ее трансформации в ЭКС (ЭОКС) в ходе динамического существования, самоорганизации и эволюции, осуществление всех этих процессов связано лишь с трансформациями потока освобождаемой в базисной реакции свободной энергии (21). Остаются вне рамок этой связи постоянные потоки

энтальпии  $\Delta H^{*0}$  и равновесно связанной энергии  $T\Delta S^{*0}$ , а также поток бесполезно рассеиваемой энергии  $Q$ . Из (22) видно также, что процессы самоорганизации и эволюции совершаются за счет части энергии, освобожденной в базисной реакции.

**Когерентная самоорганизация множества индивидуальных ЭОКС.** Как показано в [5, 10], индивидуальные ЭОКС могут взаимодействовать друг с другом и воспринимать друг друга как действие факторов внешней среды, влияющее на их кинетическую сферу. Взаимодействие ЭОКС во множестве может быть как *близкодействующим* в случае соприкосновения и частичного объединения их кинетических сфер, так и *дальнодействующим* в случае резонансного действия характеристических релаксационных излучений ( $Q_{\Theta X}$ ) одних ЭОКС на другие однородные ЭОКС, имеющие те же неравновесные структуры, которые дали при релаксации фотоны:

$$h\nu_j = \Sigma Q_{\Theta X} \quad (23)$$

В последнем случае во множестве ЭОКС ( $M$ -ЭОКС) произойдет кооперативное взаимодействие ЭОКС с синхронизацией их внутренних процессов во множестве, приводящее к их когерентному поведению



Возникает именно тот механизм кооперативного взаимодействия индивидуальных осцилляторов, приводящий к когерентному поведению всего множества, который принимал Хакен [13] для самоорганизации макросистем, названный им синергетикой.

Это другой тип самоорганизации по сравнению с рассмотренной выше континуальной самоорганизацией ЭОКС, подчиненный континуальной самоорганизации и происходящий за счет части энергии, рассеиваемой в континуальной самоорганизации. Ибо энергия характеристических излучений  $Q_{\Theta X}$  составляет едва ли 10% от энергии  $\Theta$ , потребляемой на континуальную самоорганизацию. Общей у этих двух типов самоорганизации является их суть, связанная с затратой энергии на внутреннюю полезную работу против равновесия и направленность процесса от равновесия к неравновесию ( $\Delta r \uparrow$ ). Однако ряд свойств объектов, обладающих этими типами самоорганизации, диаметрально различны, что можно видеть из их сопоставления для индивидуальных ЭОКС и  $M$ -ЭОКС (табл. 1).

Существует множество экспериментальных наблюдений проявления того и другого типа самоорганизации в области каталитической химии, полученных при исследовании кинетики и механизмов каталитических реакций и эффектов неаддитивности действия многокомпонентных

### **Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем**

систем с несколькими катализаторами и несколькими реакциями, а также существует множество наблюдений проявления континуальной и когерентной самоорганизации в области физики, биологии и человеческой деятельности, рассмотрение которых заслуживает специального внимания.

**Саморазвитие ЭОКС и процессы химической эволюции.** При взаимодействии системы (5) со случайными факторами внешней среды (примесями к исходным веществам базисной реакции, светом и другим электромагнитным излучением, ионизирующими частицами, электрическим, магнитным и прочими полями) ЭОКС претерпевает адаптивные реакции на эти воздействия. При этом возможны обратимые изменения ЭОКС, если воздействия затрагивают кинетическую сферу, в которых ЭОКС приспосабливается к действию этих факторов, сохраняя свой гомеостазис. Возможны также необратимые изменения, если воздействия затрагивают конституционную сферу  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , которые приводят к адекватным изменениям кинетической сферы  $a_i \rightarrow a_{i+1}$ . Необратимые изменения являются бифуркационными, так как имеют два возможных результата, принципиально важных для дальнейшего динамического существования ЭОКС. Если при изменении  $a_i \rightarrow a_{i+1}$  каталитическая активность становится  $a_{i+1} = 0$ , ЭОКС прекращает существование, так как  $I = af = 0$ , и распадается. Это *неэволюционное изменение*  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ . Если же при изменении  $a_i \rightarrow a_{i+1}$  каталитическая активность  $a_{i+1} >, =$  или  $< a_i$ , ЭОКС продолжает существовать на новом уровне ее энергетического потенциала  $I = a_{i+1} f > 0$  и имеет возможность претерпевать новое необратимое изменение. Это *эволюционное изменение*  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ .

В условиях длительного существования ЭОКС на постоянной базе и действия разнообразных факторов внешней среды произойдет *первичный естественный отбор* эволюционных изменений ЭОКС от неэволюционных, ибо базисная реакция будет протекать только в системах, претерпевших эволюционные изменения. При этом выявятся цепи эволюционных изменений ЭОКС



и их конституционной сферы



которые являются процессами *химической эволюции*. Так как каждому эволюционному изменению  $K_i \rightarrow K_{i+1}$  соответствует оптимальная континуальная самоорганизация в процессе химической эволюции, совершаемой на постоянной базисной реакции, будет иметь место *саморазвитие континуальной самоорганизации индивидуальных ЭОКС*.

В работах [4, 5, 6-9] подробно рассмотрены условия и закономерности саморазвития открытых каталитических систем. Здесь отметим лишь законы.

Специфические признаки микроскопических ЭОКС и сопряженных с ними макроскопических М-ЭОКС, определяющие реализацию длинных цепей химической эволюции (26)

Признаки	ЭОКС	М-ЭОКС
Индивидуальность	элементарность	множественность
Целостность	функциональная неделимость	функциональная делимость
Пространственная локализация	корпускулярность	полевые свойства
Однородность компонентов	компоненты качественно разнородны	компоненты однородны
Взаимозамещаемость компонентов	компоненты не замещают друг друга и несут самостоятельную функцию	компоненты заменяют друг друга
Сила взаимодействия компонентов	сильное взаимодействие с появлением нового качества	слабое взаимодействие информационного характера без появления нового качества
Результат взаимодействия компонентов	образование кинетического континуума веществ и процессов	возникновение согласованного когерентного поведения составляющих компонентов
Механизм взаимодействия при неравновесном упорядочении	синкретический	синергический
Тип самоорганизации	континуальный	когерентный
Саморазвитие самоорганизации	есть	Нет
Специфика проявления самоорганизации в разных объектах данной группы	тождественная индивидуальность континуальной самоорганизации однородных ЭОКС и видовые различия разнородных ЭОКС	неспецифичность проявления когерентной самоорганизации в разных по размеру множествах и в разных по уровню развития макрообъектах

Это феноменологические законы развития:

- вероятностный (стохастический);
- кинетический (деятельностный);
- энергетический (энергодинамический);
- информационный (генетический),

определяющие возможность эволюции (25,26) и необходимые для этого условия, связанные со свойствами исходных  $K_i$  и факторов внешней среды, а также с соблюдением принципов динамического существования и континуальной самоорганизации ЭОКС. Однако эти законы не определяют ни причин, ни движущих сил, ни направленности эволюции и механизма действия вторичного естественного отбора на максимальную прогрессивность эволюционных изменений в ряду (25, 26). Это определяет лишь основной закон прогрессивной эволюции.

**Основной закон прогрессивной химической эволюции, ее причины и движущие силы.**

Основной закон эволюции выводится на основе количественного описания всех возможных путей химической эволюции и сопоставления характеристик разных путей по определенному признаку

**Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция  
открытых каталитических систем**

[4]. В поле случайных марковских процессов рассматривается эволюционная функция пути в координатах, соответствующих цепи эволюции (26) и степени развития

$$j = \log_k a_i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \quad (27)$$

определяемой из кинетического закона развития экспоненциального вида

$$a_i = a_0 k_g^j, \quad (28)$$

где  $a_i$  - среднее арифметическое значение  $a_i$  на эволюционной стадии  $i$ ;  $k_g$  - среднее геометрическое значение коэффициента развития  $g$ . При этом получается известная в литературе [4, 5, 13 и др.] треугольная кинетическая диаграмма, описывающая путь развития в виде изменений целочисленных значений степени развития, с помощью которой можно вычислить изменения разных параметров, в том числе скоростей и вероятностей эволюции по каждому пути с ограничением времени или числа эволюционных стадий.

Сопоставление полученных значений этих параметров для разных путей развития показывает, что с наибольшей скоростью или с наибольшей вероятностью осуществляются те пути эволюции (26), которые приводят к максимальным величинам абсолютной каталитической активности (6) или ее функций (например (10)). Это и есть основной закон прогрессивной эволюции, который в аналитической форме приобретает вид

$$\Delta I / \Delta t > 0, \text{ [Дж/с}^2\text{]} \quad (29)$$

и означает приращение энергетического потенциала (общей мощности) базисной реакции в ходе прогрессивной эволюции. Если в ходе химической эволюции происходящие изменения  $K_i \rightarrow K_{i+1}$  приводят к

$$\Delta I / \Delta t < 0, \quad (30)$$

имеем регрессивную эволюцию; если же

$$\Delta I / \Delta t = 0, \quad (31)$$

имеем нулевую эволюцию, которая наблюдается при достижении и преодолении кинетических пределов развития.

В ряде работ [4, 5, 6, 7] приведены диаграммы развития ЭОКС с разными значениями  $k_g$ , которые показывают, что саморазвитие ЭОКС действительно устремляется в направлении наиболее прогрессивных изменений  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , что селективность естественного отбора ЭОКС по наиболее прогрессивным путям значительно выше, чем по менее прогрессивным или регрессивным. Например, отношения вероятностей эволюции по наиболее прогрессивному и наиболее регрессивному путям до седьмой эволюционной стадии равно  $k_g^4$ .

Из сказанного выше видно, что вторичный естественный отбор наиболее прогрессивных эволюционных изменений  $K_i \rightarrow K_{i+1}$  связан с более интенсивным протеканием базисной реакции в ЭОКС с такими изменениями, т.е. происходит самопроизвольно и автоматически, как и

первичный отбор на выживание ЭОКС. Фактором отбора является протекание базисной реакции. Очевидно также, что условием осуществления химической эволюции является устойчивое динамическое существование ЭОКС в ходе обмена энергии базисной реакции, причиной эволюции являются необратимые изменения  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , а движущей силой механизма отбора является самоускорение базисной реакции, характеризующееся приращением мощности обменного процесса (29). Следовательно, прогрессивная направленность вторичного естественного отбора определяется не сутью изменений природы  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , а функциональной активностью ЭОКС при соответствующих изменениях  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , т.е. кинетическими и энергетическими факторами, и имеет энергетическую природу.

**Прогрессивная химическая эволюция и возникновение жизни.** Из общей теории прогрессивной химической эволюции и биогенеза, разработанной на основе концепции эволюционного катализа [4] и опубликованной в [6-8], следует, что происходящие в химической эволюции последовательные изменения состава, структуры и континуальной самоорганизации ЭОКС ограничены вероятностными и кинетическими пределами развития. Вероятностные пределы, определяющие возможность дальнейших изменений  $K_i \rightarrow K_{i+1}$  после каждого эволюционного изменения, зависят от природы  $K_i$  и факторов внешней среды, вызывающих изменения, а также от возможного многообразия этих изменений, связанного со свойствами этой среды. Кинетические пределы, ограниченные возможностями изменений функциональной активности при определенной природе  $K_i \rightarrow K_{i+1}$ , зависят от кинетических условий обмена веществ базисной реакции и обеспеченности существования ЭОКС исходными веществами базы.

В ходе эволюции вероятностные и кинетические пределы развития преодолеваются в результате формирования новых свойств и функций ЭОКС и естественного отбора этих изменений в соответствии с основным законом эволюции. При этом старые свойства и функции сохраняются и действует принцип преемственности старых и дополнительности новых свойств. В прогрессивной эволюции действует механизм последовательного формирования новых свойств и функций ЭОКС, при котором усложняются не только состав и структура, но и функциональные особенности химического поведения ЭОКС. Так как на каждом этапе и стадии эволюции имеет место строго детерминированная природой  $K_i$  и базы оптимальная континуальная самоорганизация ЭОКС, в ходе прогрессивной эволюции происходит также строго детерминированное саморазвитие континуальной самоорганизации. При этом эволюция проходит определенные (в физико-химическом плане) естественные этапы и происходит последовательное формирование строго определенных свойств и функций. Свойства и функции все более усложняются, а химическое поведение индивидуальных ЭОКС все более приближается к поведению живых организмов. Описание механизмов преодоления пределов и формирования свойств можно найти в [4, 5, 6-9 и др.].

## **Самоорганизация и прогрессивная химическая эволюция открытых каталитических систем**

При переходе от неживых ЭОКС к первичным живым организмам наибольший вклад вносит формирование новых свойств и функций при преодолении кинетических пределов (КП): I КП - температурного характера и II КП - концентрационного характера. Этими пределами ход химической эволюции делится на ее естественные этапы (первичную и предбиологическую эволюцию) и происходит разграничение химической и биологической эволюции. Вместе с тем определяется физико-химический критерий жизни, связанный с формированием новых свойств и функций ЭОКС при преодолении II КП между химической и биологической эволюцией.

Естественные этапы эволюции:

*Первичная химическая эволюция* - от нуля-пункта формирования ЭОКС в ходе базисной реакции до I КП.

*Предбиологическая химическая эволюция* - от I КП, при формировании свойства однородного роста с умножением каталитических функций, до II КП.

*Биологическая эволюция* - от преодоления II КП, при формировании свойства точной пространственной редупликации индивидуальных ЭОКС (свойства размножения), и переходом к нулевой биологической эволюции в условиях перманентного III КП экологического характера.

При преодолении КП меняется закон развития ЭОКС, параметры естественного отбора, характер естественного отбора и темп эволюции. Так, в ходе первичной химической эволюции в результате предельного совершенствования механизма базисного процесса создаются максимально активные и селективные белковые катализаторы ферментного типа. При этом абсолютная каталитическая активность (6) достигает максимального значения и степень развития (27) не может увеличиться ни при каких изменениях  $K_j \rightarrow K_{j+1}$ . Кинетический закон развития (28) перестает действовать, так как

$$\lim a_i = k_g^{j_{\max}} = \text{const} \quad (32)$$

Достигается I КП, так как дальнейший рост  $a_i$  ограничивается предельной частотой элементарных процессов  $kT/h$ , зависящей от температуры (см. (7)).

В предбиологической эволюции после преодоления I КП, состоящего в формировании механизма матричного синтеза всех катализаторов и внестехиометрических компонентов ЭОКС и в образовании параллельных линий осуществления базисной реакции с числом  $\lambda = 2, 3, 4$  и т.д., ЭОКС приобретает принципиально новое свойство - однородный рост с увеличением массы системы и числа однородных функций, а следовательно, и мощности обменного процесса (10) в  $\lambda$  раз.

В законе развития появляется новая переменная  $\lambda$

$$i\lambda = (a_0 k_g^{j_{\max}}) \lambda \quad (33)$$

Рост числа  $\lambda$  и производительности ЭОКС на этом этапе ограничивается II КП, связанным

с диффузионным торможением обмена веществ базы на входах и выходах системы

$$ai\lambda = (a_0 k_g^{j_{\max}}) \lambda_{\max} = \text{const} \quad (34)$$

В биологической эволюции после преодоления II КП, связанного с формированием свойств точной пространственной редупликации (размножения) индивидуальных ЭОКС действует следующий закон развития

$$ai\lambda_{\nu} = (a_0 k_g^{j_{\max}}) \lambda_{\max} 2^{\nu}, \quad (35)$$

где переменная  $\nu$  имеет физический смысл числа поколений популяций "живой ЭОКС" между стадиями эволюционных изменений. При этом химическая эволюция завершается и на той же материальной основе продолжается биологическая эволюция живых организмов. При преодолении II КП не только появляется свойство размножения и возникает жизнь, но и изменяется кинетический закон и темп эволюции, изменяются параметры естественного отбора и характер естественного отбора. Отбор становится дарвиновским (отбор изменений популяций), в то время как в химической эволюции происходил отбор изменений индивидуальных ЭОКС. В биологической эволюции при появлении первого живого организма и его предельном (по экологическим соображениям) размножении

$$2^{\nu} \rightarrow 2^{\nu_{\max}} = \text{const} \quad (36)$$

достигается III КП экологического характера и вся дальнейшая биологическая эволюция протекает как нулевая в условиях перманентного III КП, который биологическая эволюция пыталась преодолеть путем формирования новых видов жизни, освоения новых источников питания и энергии, а также расширения экологических ниш обитания, но так и не преодолела его. **Значение концепции эволюционного катализа для классификации материальных объектов мира.** Как уже отмечалось в [5, 10 и др.], рассмотрение проблем самоорганизации и прогрессивной эволюции на конкретном материале эволюционного катализа дает уникальную возможность исследовать все эти явления в близких условиях, количественно описать их физическую суть и связи между ними. Найденное понимание сути явлений самоорганизации и саморазвития, установленные законы существования, самоорганизации и саморазвития неравновесных ЭОКС благодаря их описанию при помощи кинетических и энергетических параметров, т.е. физических параметров - общих для описания аналогичных параметров на всех уровнях развития материи (ядерном, физическом, биологическом и психо-социальном), может быть использовано для классификации материальных объектов мира.

Такая классификация (см. табл. 2,3) не только определяет место явлениям самоорганизации и прогрессивной эволюции, но и позволяет увидеть весь мир с новой точки зрения, с учетом явлений упорядочения хаоса, разных типов самоорганизации и разных видов эволюции. Согласно такой классификации [11, 12], наиболее фундаментальным подразделением объектов мира является

подразделение их на мир.

Таблица 2

Общие признаки индивидуальных и коллективных объектов с неравновесным и равновесным структурным упорядочением вещества

Признаки объекта	Принцип упорядочения	
	Неравновесный	равновесный
Тип упорядочения	самоорганизация	организация
Тип устойчивости	динамический	статический
Направленность изменений при образовании объекта	к неравновесию	к равновесию
Энергодинамика	энергия затрачивается	Энергия выделяется
Взаимоотношения объекта со средой	Динамические открытые системы (ОС), существующие в ходе обмена веществ и энергии	стабильные закрытые системы без обмена веществ; ОС статического типа устойчивости
Характер внутренних циклических процессов	необратимые, затухающие, использующие энергию обменного процесса на свое поддержание на стационарном уровне	Обратимые, незатухающие, нерассеивающие энергию внутреннего процесса
Характер структуры	неравновесная структурно-функциональная организация, формирующаяся в обменном процессе	Равновесная структура как устойчивый порядок взаимодействия частиц в пространстве

Таблица 3

Специфические признаки индивидуальных (микро-) и коллективных (макро-) объектов с неравновесным и равновесным упорядочением вещества

Признаки объектов	Принцип упорядочения			
	неравновесный		равновесный	
Ранг организации	микро-	макро-	микро-	макро-
Тип самоорганизации	Континентальный (синкретический)	когерентный (синергический)	нет	нет
Тип эволюции	прогрессивная эволюция к неравновесию с формированием новых качеств	эволюция к равновесию без формирования новых качеств	отсутствие эволюции	эволюция к равновесию без формирования новых качеств
Естественный отбор	есть	нет	нет	нет

Подразделение же мира на микро- и макромиры является не только вторичным, ибо существуют микро- и макрообъекты среди объектов как с неравновесным, так и с равновесным упорядочением, но и не имеет абсолютного значения. Подразделения на микро- и макрообъекты всегда относительны и имеют смысл только для сопряженных пар родственных объектов: для каждого

индивидуального функционально-неделимого микрообъекта существует макрообъект в виде множества (коллектива) индивидуальных объектов. Соотношение между микро- и макрообъектами всегда соответствует соотношению между индивидуальностью и коллективностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1974.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных структурах. М.: Мир, 1979.
3. Руденко А.П. Саморазвивающиеся каталитические системы // Докл. АН СССР. 1964. Т. 159. С. 1374-1377.
4. Руденко А.П. Теория саморазвития открытых каталитических систем. М.: изд-во МГУ, 1969, 262 с.
5. Руденко А.П. Самоорганизация и прогрессивная эволюция в природных процессах в аспекте концепции эволюционного катализа // Росс. хим. журнал. 1995. Т. 39. N 2. С. 55-71.
6. Руденко А.П. Эволюционная химия и естественно-исторический подход к проблеме происхождения жизни // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1980. Т. 25. N 4. С. 390-404.
7. Руденко А.П. Физико-химические основания химической эволюции. I. Объекты химической эволюции // Журн. физ. химии. 1983. Т. 57. N 7. С. 1597-1608; N 11. С. 2641-2658.
8. Руденко А.П. Физико-химические основания химической эволюции. III. Эволюционный потенциал элементарных открытых каталитических систем // Журн. физ. химии. 1987. Т. 61. N 6. С. 1457-1471.
9. Руденко А.П. Эволюционный катализ и проблема происхождения жизни. В кн.: Взаимодействие методов естественных наук в познании жизни. М.: Наука, 1976, с. 186-235.
10. Руденко А.П. Самоорганизация и саморазвитие индивидуальных и коллективных неравновесных систем. В кн.: Анализ систем на пороге XXI века: теория и практика (Материалы Международной конференции). Т. 3. М.: Интеллект, 1997. С. 127-135.
11. Руденко А.П. Теория и методология систем с циклической формой внутренних процессов с учетом проблем развития материи. В сб.: Циклы природы и общества (Материалы IV Международной конференции). Ч. II. Ставрополь: изд-во Ставропольского ун-та, 1996. С. 11-20.
12. Руденко А.П. Равновесная и неравновесная структурная организация природных объектов как основа их системной классификации. В сб.: Нетрадиционные вопросы геологии. М.: РОСТ, 1999.
13. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
14. Щербаков А.С. Самоорганизация материи в неживой природе (философские

## SELF-ORGANIZATION AND PROGRESSIVE CHEMICAL EVOLUTION OF SYSTEMS OPEN CATALYTIC

**Rudenko A.P.**, Doctor of Chemical Sciences, professor of MSU.

**Annotation.** The scientific and theoretical existence of the phenomenon of self-organization of nonequilibrium open systems as a process of nonequilibrium ordering was given by I.R.Prigozhin [1,2] and the author of this article [3,4] almost at the same time independently of each other. By self-organization, we meant a process with a diametrically opposite energy-dynamic orientation than the process of ordinary organization, obeying the Boltzmann principle (the system's striving for maximum entropy and minimum free energy). However, Prigozhin and I had alternative approaches to describing the physical essence of the phenomenon; the nature of the study and the nature of the objects where it was observed were different. Therefore, the development of research in these two directions practically took place independently and did not overlap until it became necessary to compare these two approaches in solving the issues of the relationship between the processes of self-organization and self-development and the relationship between self-organization and progressive chemical evolution leading to the emergence of life. The comparison of these two approaches in the aspect of solving these problems, carried out in [5,6], revealed their alternativeness and different heuristic possibilities.

**Key words:** disequilibrium, self-organization. entropy, manifestations of heuristics.

### REFERENCES

1. Glensdorf P., Prigogine I. Thermodynamic Theory of Structure, Stability, and Fluctuations. Moscow: Mir, 1974.
2. Nicolis G., Prigogine I. Self-Organization in Non-Equilibrium Structures. Moscow: Mir, 1979.
3. Rudenko A.P. Self-Developing Catalytic Systems // Doklady of the USSR Academy of Sciences. 1964. Vol. 159. Pp. 1374-1377.
4. Rudenko A.P. Theory of Self-Development of Open Catalytic Systems. Moscow: Moscow State University Press, 1969, 262 pp.
5. Rudenko A.P. Self-Organization and Progressive Evolution in Natural Processes in the Context of the Concept of Evolutionary Catalysis // Russian Chemical Journal. 1995. Vol. 39. No. 2. Pp. 55-71.
6. Rudenko A.P. Evolutionary Chemistry and the Natural-Historical Approach to the Problem of the Origin of Life // Journal of the D.I. Mendeleev All-Russian Chemical Society. 1980. Vol.

25. No. 4. Pp. 390-404.

7. Rudenko A.P. Physico-Chemical Foundations of Chemical Evolution. I. Objects of Chemical Evolution // Journal of Physical Chemistry. 1983. Vol. 57. No. 7. Pp. 1597-1608; No. 11. Pp. 2641-2658. 8. Rudenko A.P. Physico-Chemical Foundations of Chemical Evolution. III. Evolutionary Potential of Elementary Open Catalytic Systems // Journal of Physical Chemistry. 1987. Vol. 61. No. 6. Pp. 1457-1471.

9. Rudenko A.P. Evolutionary Catalysis and the Problem of the Origin of Life. In: Interaction of Natural Science Methods in Understanding Life. Moscow: Nauka, 1976, pp. 186-235.

10. Rudenko A.P. Self-Organization and Self-Development of Individual and Collective Non-Equilibrium Systems. In: System Analysis at the Threshold of the 21st Century: Theory and Practice (Materials of the International Conference). Vol. 3. Moscow: Intellect, 1997, pp. 127-135.

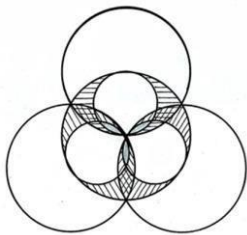
11. Rudenko A.P. Theory and Methodology of Systems with Cyclic Forms of Internal Processes Considering the Problems of Matter Development. In: Cycles of Nature and Society (Materials of the IV International Conference). Part II. Stavropol: Stavropol State University Press, 1996, pp. 11-20.

12. Rudenko A.P. Equilibrium and Non-Equilibrium Structural Organization of Natural Objects as the Basis for Their Systematic Classification. In: Unconventional Issues in Geology. Moscow: ROST, 1999.

13. Haken G. Synergetics. Moscow: Mir, 1980.

14. Shcherbakov A.S. Self-Organization of Matter in Inanimate Nature (Philosophical Aspects of Synergetics). Moscow: Moscow State University Press, 1990.

УДК 556.048; 632.123.1



## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАВОДНЕНИЙ НА РЕКАХ

(кумулятивно-диссипативный подход)

*Иванов О.П.*

**Аннотация.** Водосборный бассейн, река и дельтовая зона вместе составляют сложную открытую дипольную систему. В ней роль аккумулятора высокой потенциальной энергии воды выполняет подсистема водосбора, русловые зоны являются кумулятивными транзитными зонами потенциальной энергии воды, а устьевые зоны – диссипаторами этой энергии, предельно минимизирующими ее уровень. Подобную систему удобно представлять в виде модели «водостока», что позволяет рассмотреть все виды наводнений в различных ее участках и одновременно дать сравнительную оценку потенциальных возможностей речных систем как дипольных образований с тектонических позиций.

**Ключевые слова:** водосток, диполь, водосбор, дельта, русло.

**Введение.** По величине наносимого ущерба социальным и экологическим системам и числу жертв, включая и одноразовые ситуации, наводнения всегда занимали ведущее место среди других опасных природных процессов. Поэтому их исследованию всегда уделялось значительное внимание.

Причинность, как важнейшая категория генезиса, позволяет выделить три основных типа наводнений: пойменно-русловые (половодья, паводки, зажорные, заторные, завальные), прорывные (нарушение каменных и ледниковых завалов, разрушение антропогенных плотин) и устьевые (нагонные, цунамигенные). Казалось бы, такое разнообразие существенно затрудняет решение ряда задач, связанных с анализом не только специфики развития наводнений разного типа, но и, прежде всего, с разработкой принципов защиты от их последствий.

**Универсальная модель водостока.** Реки, следовательно, и наводнения являются важнейшей составляющей водного цикла на Земле. Действительно, большая часть испарений в виде атмосферных осадков выпадает над океаном и около 25% – над сушей. Примерно 2/3 из этого числа выпавших осадков в результате испарения и транспирации вновь поступает в атмосферу и лишь 1/3 стекает в реки и просачивается в грунт. Общее количество водных ресурсов – это сумма стационарных запасов различных частей гидросферы (Табл. 1) и динамических запасов, возобновляемых в процессе круговорота воды [3]. Как видно из таблицы наиболее динамичными являются потоки в атмосфере и реках, включая водохранилища как составляющие рек. Кроме этого, следует учитывать, что значительную часть почвенного, озерного и ледникового обмена также берут на себя реки. Следовательно, реки по динамическому рангу занимают весьма существенное второе место после атмосферы.

Как видно из таблицы объем вод, поступающих на поверхность Земли, огромен, и реализовать скорейшее перемещение вод можно только кумулятивным путем, т.е. в виде концентрированных скоростных потоков, каковыми и являются реки.

Таблица 1

Водные ресурсы Земли [3, С. 76] с добавлениями авторов

Виды природных вод	Площадь		Полный объем, км <sup>3</sup>	Доля в мировых запасах, %		Средний период условного возобновления запасов воды, лет	Среднегодовая динамика условного возобновления запасов воды, км <sup>3</sup> /год
	млн км <sup>2</sup>	% площади суши		от общих запасов воды	от запасов пресных вод		
<i>Вода на поверхности литосферы</i>							
<b>Мировой океан</b>	361	—	1 338 000 000	96.4	—	2650.00	504906
<b>Ледники и постоянный снежный покров</b>	16.25	10.9	25 780 000	1.86	70.2	9700.00	2658
<b>Озера в том числе пресные</b>	2.1	1.4	176000	0.013	—	17.00	10353
<b>Водохранилища</b>	1.2	0.8	91000	0.007	0.25	—	—
<b>Вода в реках</b>	0.4	0.3	6000	0.0004	0.016	0.14	42115
<b>Вода в болотах</b>	—	—	2000	0.0002	0.005	0.05	38421
<b>Вода в болотах</b>	2.7	1.8	11000	0.0008	0.03	5.00	2200
<i>Вода в верхней части литосферы</i>							
<b>Подземные воды в том числе пресные</b>	—	—	23 400 000	1.68	—	1400.00	16714
<b>Подземные льды зоны многолетне-мерзлых пород</b>	—	—	10 530 000	0.76	28.7	—	—
<b>Подземные льды зоны многолетне-мерзлых пород</b>	2.1	14	300000	0.022	0.82	10000.00	30
<i>Вода в атмосфере и в организмах</i>							
<b>Вода в атмосфере</b>	—	—	13000	0.001	0.04	0.02	593125
<b>Вода в организмах</b>	—	—	1000	0.0001	0.003	Несколько часов	—
<i>Общие запасы воды</i>							
<b>Общие запасы воды в том числе пресной</b>	—	—	1 388 000 000	100	—	—	—
<b>Общие запасы воды в том числе пресной</b>	—	—	36 730 000	2.65	100	—	—

Вода является исключительно подвижной субстанцией и поэтому важнейшей ее функцией является функция минимизации гравитационного потенциала энергии. Действительно, воды, выпавшие или растаявшие в высокогорных районах, обладают высокой потенциальной энергией и



кумулятивной струи, а дельта – как диссипатор гравитационной энергии реки. Если модель водостока несколько видоизменить, добавив кумулятивную зону русла и диссипативную зону устья, то получим комплексную модель для объяснения наводнений всех типов (рис.2).

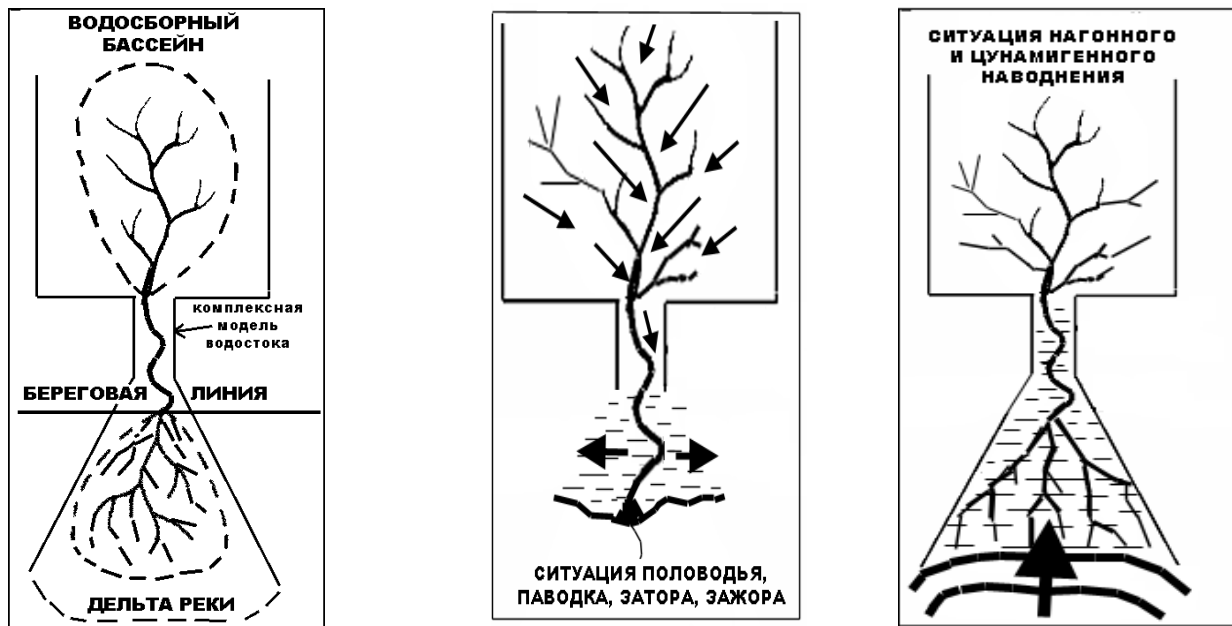


Рис.2 Модели распространенных наводнений

Слева - расширенная модель водостока, соединяющая водосбор и дельту рекою. В центре - сценарий затопления территорий (заштрихованная область) в ситуации половодья, паводка, затора и зажора. Справа - сценарий нагонного и цунамигенного наводнений. Направление нагона и движения цунами в зону дельты реки показано стрелкой.

**Половодья и паводковые наводнения.** В случае «большой воды» возникает переполнение русла. В отличие от модели, русло реки в отдельных местах с малой пропускной способностью может не справиться с объемом поступающей воды и тогда возникает ситуация его расширения за счет затопления прилегающих участков (рис.2, центральный). На этой логической основе можно приводить типизацию наводнений по высоте затопления.

Репером являются затапливаемые структурные особенности реки такие, как поймы и террасы. Самым низким репером является нижняя пойма. Это участок, прилегающий непосредственно к руслу реки, часто затапливаемый при малейшем повышении уровня реки и покрытый мощными наносными накоплениями. Такие наводнения считаются низкими. Средними являются наводнения затапливающие участки высоких пойм. В прошлом это были низкие поймы и на них частично сохранились наносные отложения, но когда река прорезала русло глубже и размывала берега, то эти поймы стали как бы вторым этажом в структуре реки. Если такие врезания реки происходили неоднократно, то самые первые поймы могли подниматься еще выше. Поэтому средними наводнениями считаются наводнения, способные затопить на какое-то время верхние поймы. Эрозия будет

денудировать наносные отложения бывших пойм, и обнажать коренные породы. Такие выступы по бортам рек, очищенные от наносных отложений, стали называться террасами. Сильные наводнения затапливают нижние террасы, а катастрофические – самые верхние террасы и, следовательно, значительные пространства с расположенными на них населенными пунктами [3].

Русловой дебит зависит от того, насколько интенсивно проходит наполнение водосборного бассейна. Понятно, что энергия водостока тем выше, чем больше объем жидкости налитой в цилиндр модели или чем больше растаяло снега или выпало дождей за короткий период в системе водосборного бассейна. С одной стороны, это зависит от географического и морфологического положения водосборного бассейна, т.е. от количества выпадающих осадков в зоне бассейна и возможностей ледникового питания с гор. С другой стороны, объемы накопления вод целиком зависят от площади водосборного бассейна, его уклонов, залесенности склонов и уровня инфильтрации почв. Таким образом, динамика реки и соответственно наводнения напрямую зависит от трех основных «параметров порядка»: площади водосборного бассейна, степени его наполнения (источников питания) и перепада высот между ним и дельтой.

Обычный водосборный бассейн любой реки действует аналогичным способом. Только здесь река выступает в качестве линейного стока, а водосборный бассейн в качестве наклоненного сосуда с водой (совокупность ручьев, мелких речек и плоского стока). Поэтому при прогнозах размеров паводков стремятся определить различные параметры кумуляции. Например, запасы снега в водосборе, водонасыщенность циклона, условия стока (уклоны и залесенность водосборного бассейна). Понятно, что энергия водостока тем выше, чем больше объем жидкости налитой в цилиндр модели или чем больше растаяло снега или выпало дождей за короткий период в системе водосборного бассейна.

Реки ежегодно несут в море около  $38 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> воды, причем наибольший сток – с азиатского материка. Русловой дебит зависит от того, насколько интенсивно проходит наполнение водосборного бассейна. С одной стороны, это зависит от географического и морфологического положения водосборного бассейна, т.е. от количества выпадающих осадков в зоне бассейна и возможностей ледникового питания с гор. С другой стороны, объемы накопления вод целиком зависят от площади водосборного бассейна, его уклонов, залесенности склонов и уровня инфильтрации почв.

Таким образом, динамика реки напрямую зависит от трех основных «параметров порядка»: источников питания, площади водосборного бассейна и перепада высот между ним и дельтой (рис. 3).

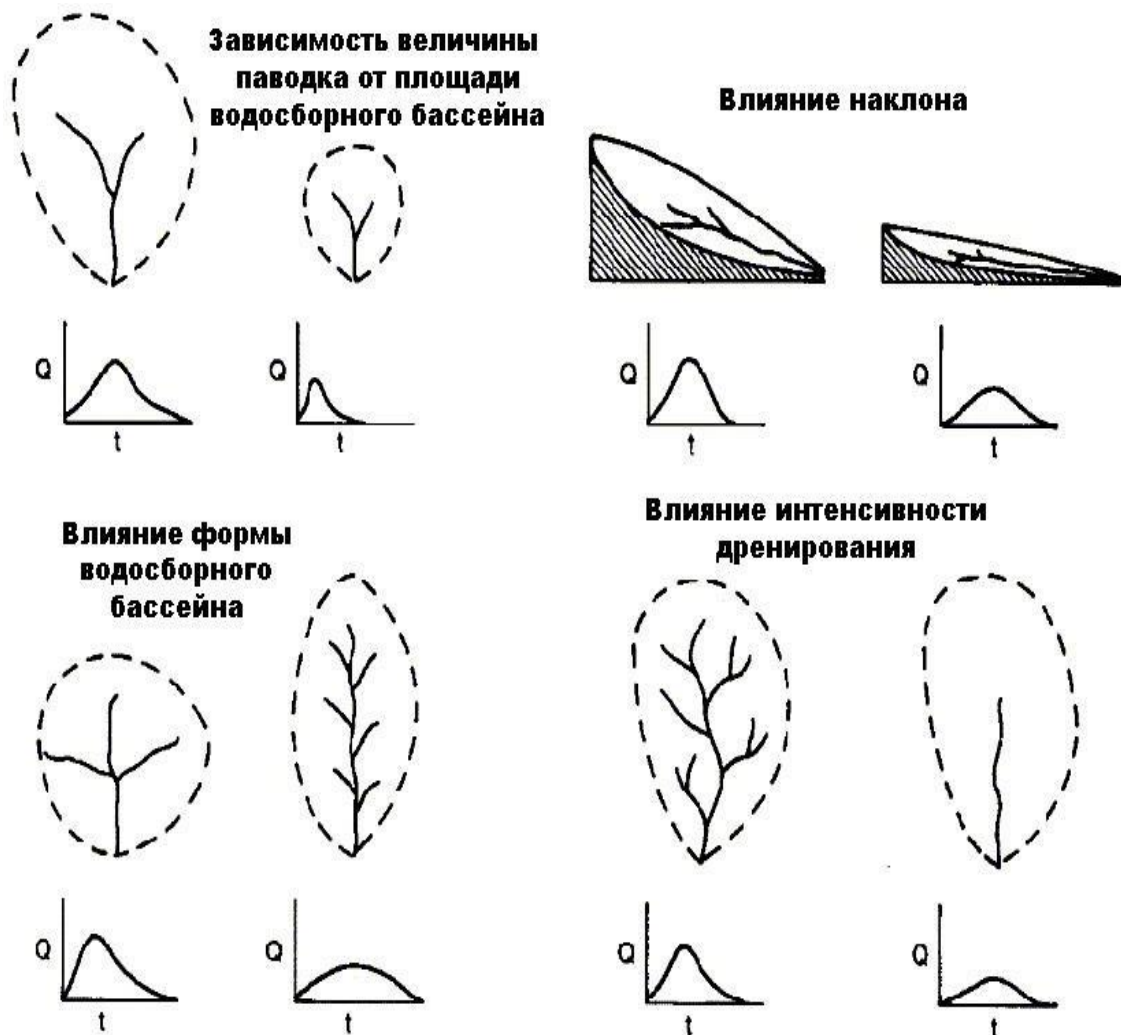


Рис. 3. Влияние различных параметров водосборного бассейна на его аккумулятивные возможности (график гидрографа)

До настоящего времени мало внимания уделялось анализу факторов, управляющих положением рек. Удобным способом такого анализа является сопоставление тектонического положения дельты с тектоническим типом водосбора. Дьюи и Бурке в 1974 г. предположили, что положение дельт некоторых рек, таких как Амазонка, Нигер, Парана, Конго и другие, было предопределено авлакогенами, которые развивались над местами горячих пятен в ранней эволюции краев Атлантического океана. В 1975 г. Клемме обратил внимание на различные типы основания и структурного окружения крупных дельт. Однако возникли сложности с дельтами, расположенными у сейсмически активных окраин, так как характер края непосредственно под дельтой не подходил точно ни под одну из принятых классификаций. Исследования окраинных типов мезокайнозойских орогенных поясов, проведенные Балли в 1975 г., позволили решить эту проблему. Он выделил типы краев на кратонической стороне – зоны поддвига Альпийского типа, и на океанической стороне – зоны поддвига Бениоффа.

В 1977 г. была предложена схема в виде таблицы, связывающей тип дренирующей модели, СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ, № 4 (45), 2022

питающей дельту, с тектоническим окружением дельты, которая оказалась весьма плодотворной и позволила удовлетворительно объяснить многие крупные современные дельты [4]. Исследования были продолжены в работе [5]. Однако введение Американского типа дренажа как однонаправленного дренажа от Кордильер к пассивной окраине континента и Африканского типа дренажа как разнонаправленного является неудачным и не раскрывает сути вопроса. Остался нераскрытым вид разгрузки во внутренние моря типа Каспийского, Черного и Аральского и краевые моря типа Белого, Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского морей и моря Лаптевых. При анализе типов дренажа акцент на способ дренирования, по-видимому, также неправомерен. Здесь определяющим является не параллельное или поперечное дренирование различных горных сооружений, а морфотектоническая специфика дипольных связей (водосбора и дельты) и их стадия развития. В этом случае появляется возможность более уверенного прогноза и палеоанализа погребенных речных систем.

Анализ геолого-геоморфологической картографической информации позволяет отметить, что дренируются три типа сооружений: высокорельефные (2000 – 6000 м) мегаантиклинории или мегашвы сжатия (в геоморфологической терминологии горно-складчатые области), кратоны и платформы. Под кратонами в данной работе понимаются (по Х. Штилле) приподнятые (600 – 2000 м) древние массивы преимущественно силикатного (Si, Al) состава, т.е. приподнятые части щитов. Менее приподнятые участки щитов (100 – 600 м), перекрытые осадочными породами, называются платформами. Они характеризуются плоским равнинным рельефом или пологоволнистыми сводовыми возвышенностями и котловинами.

Современный мегашов сжатия является местом столкновения литосферных плит в мезокайнозойское время. Если одна океаническая литосферная плита взаимодействует с другой океанической или континентальной литосферной плитой, то наиболее тяжелая из них, будет погружаться под более легкую, отмечая место и характер погружения образованием вулканической дуги и глубоководного желоба перед дугой. Такая окраина получила название зона Бениоффа или зоны «Б». Существуют две разновидности процесса поддвига в зоне «Б». В одном случае между вулканической дугой и континентом образуется задуговое море, например западная часть тихоокеанского вулканического кольца с его задуговыми морями. В другом случае вулканическая дуга располагается непосредственно на континенте; примером может служить подвиг тихоокеанской плиты под южноамериканские Анды. Как правило, рельеф гор образующихся при поддвиге второго типа, значительно выше и занимает площадь, достаточную для образования существенного водосборного бассейна. При этом высокие горы служат прекрасным барьером для задержания циклонических воздушных масс, и обеспечивают сброс больших объемов влаги в предгорьях. Такие условия являются достаточными для образования сравнительно крупных рек таких, как Фрейзер и Снейк-Колумбия.

разломов, рассекающих горы. Общая площадь водосборных бассейнов, расположенных со стороны зоны подвига (обозначим как «Б<sub>б</sub>»; на рис. 5, заштрихованная область), значительно меньше площади водосборных бассейнов, прилегающих со стороны пассивной окраины (обозначим «Б<sub>п</sub>»; на рис. 4, не заштрихованная область). Такое неравенство площадей подчеркивается и асимметрией рельефа вдоль сечения от глубоководного желоба зоны «Б» до пассивной атлантической окраины (рис. 4). В силу этих причин мало крупных рек направлено в сторону глубоководного желоба, и значительное количество полноводных рек течет к пассивным окраинам.

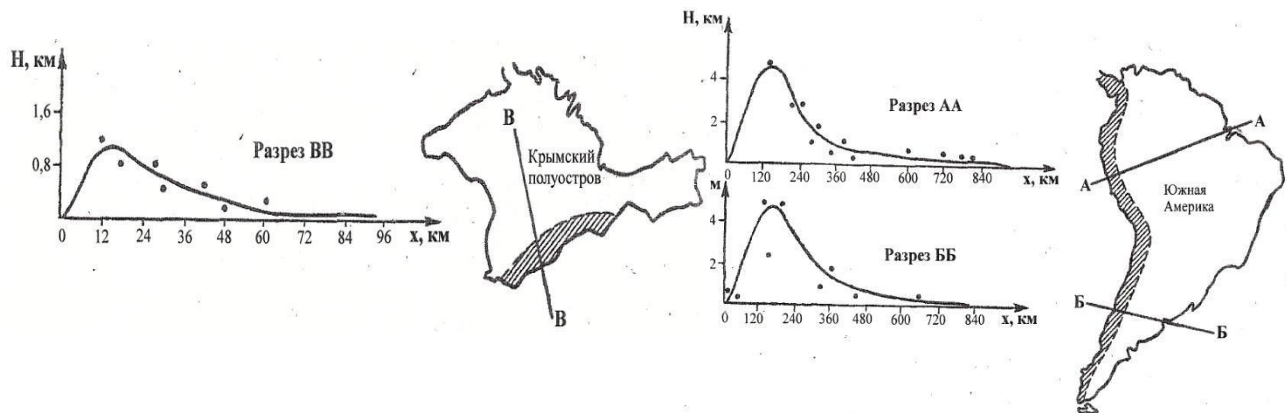


Рис. 4. Изменение характера рельефа от зоны «Б» (заштрихованная область) до пассивной окраины. Водосборные бассейны зоны «Б»

В том случае, когда сталкиваются литосферные плиты, несущие континенты, зона их взаимодействия отмечается высокогорным рельефом Альпийского типа (зона «А»), занимающим значительную площадь, сложным распределением сейсмичности, вулканизма, пластических деформаций и разломообразования. Характерной особенностью участков столкновения континентов является наличие краевых или предгорных прогибов, сопряженных с горными сооружениями. Примером служит весь Альпийско-Гималайский пояс с краевыми прогибами типа Предкарпатского, Предкавказского и др.

Образование краевого прогиба – заключительная стадия эволюции литосферы при таком столкновении. Она характеризует собой момент «захлопывания» океанической впадины. Часто в пределах поддвигающейся платформы могут располагаться пояса сравнительно низкорельефных, до 600 м высотой, и широких возвышенностей, протягивающихся параллельно краевым прогибам, существование этих поясов обусловлено квазиупругим изгибом перед зоной подвига погружающегося края литосферы. При этом реки, располагающиеся, как правило вдоль краевого прогиба, осуществляют одновременно периферийный дренаж горного пояса, который они окаймляют, и радиальный дренаж данных возвышенностей. Примером могут служить реки Тигр, Евфрат, Прут, Терек, Урал, Брахмапутра и Печора. В зоне «А» часто встречается внутрискладчатый тип дренажа, когда значительная часть русла реки располагается внутри складчатой области вдоль простирания

цепей (например, реки Иравади, Салуин, Меконг, Магдалена, Юкон, Кура, Тахо, Колыма, Индигирка, Амударья, Сырдарья и др.).

Следующий, также широко распространенный тип рельефа, это нагорья и плато. В тектоническом отношении он чаще всего соответствует понятиям «платформа» и «массив» или – кратон. Это стабильные, более древние структуры, имеющие сравнительно низкие и близкие к изометричным формы рельефа. Они в основном имеют радиальную форму дренажа. Такой дренаж осуществляется реками Африканского континента и европейской части России: Нигером, Конго, Замбези, Оранжевой, Северной Двиной, Днепром, Доном и др.

Особый и единственный случай представляет собой сводовое поднятие в районе тройного соединения литосферных плит: Красное море, Аденский залив, Великие Африканские Озера. Это горное сооружение возникло в результате теплового прогрева литосферы от воздымающегося «мантийного плюма» в зоне тройного соединения. Диаметр свода превышает  $1,5 \cdot 10^6$  м. Он вместе с прилегающей древней кратонной частью обеспечивает основную часть водосбора для реки Нил.

В том случае, когда русло реки протекает вблизи горных сооружений различного типа, мы имеем дело со смешанным типом дренажа. Если река последовательно дренирует по ходу течения различные горные сооружения, то при этом соблюдается закономерность пролегания траектории русла – от высокогорных молодых складчатых сооружений к низкорельефным древним складчатым системам и щитам. Например, реки Обь, Енисей и Лена в верхнем течении дренируют своими притоками высокогорные сравнительно молодые сооружения Алтая, Саян и Прибайкалья, а в среднем и нижнем течении они дренируют более древние и, следовательно, более низкорельефные сооружения Урала, Алдана и Верхоянья. Возможен одновременный дренаж существенно разновозрастных горных систем, как это осуществляется реками Гвадалквивир, Эбро, Гаронной, Роной. С одного берега водосборный участок располагается на склонах альпийских горных сооружений, другой берег представлен более древними сооружениями, в том числе и Центральным массивом (Франция). В этом случае значимость дренажа по обеим сторонам будет определяться соотношением этапов и характером их тектонической эволюции. Нетрудно заметить, что дренаж различных регионов, находящихся на разных этапах тектонической эволюции (смешанная тектоническая обстановка) имеет максимальное количество актуалистических примеров и представляет собой одну из заключительных стадий эволюции дренирующих систем.

**Тектоническое положение дельт.** Область разгрузки является антиподом приподнятого водосборного участка. С точки зрения анализа эволюции речной системы важно знать тектоническую обстановку региона дельты и направленность его развития. Фактически это те же тектонические формы: кратоны, пассивные и активные окраины континентов (см. таблицу 2). Однако здесь нас уже будут интересовать наиболее низкие участки этих тектонических структур, т. е. места, куда гравитационная неустойчивость заставляет двигаться водные массы и там

накапливаться.

При дренаже кратона крупной рекой встречаются две ситуации: либо разгрузка осуществляется во внутрикратонный бассейн, либо в краевое море. В качестве внутрикратонного бассейна могут быть как внутренние моря, так и крупные озера. Например, Амударья и Сырдарья разгружаются во внутреннее Аральское море; Урал и Волга – в северную часть Каспийского моря, некогда бывшего краевым морем и ставшего внутренним морем. Нева имеет два участка разгрузки – Ладожское озеро и Финский залив Балтийского моря (рис. 5а).

Разгрузка в краевые моря – одна из наиболее представительных для территории бывшего СССР. Например, дельты Колымы, Индигирки, Печоры, Лены, Оби, Енисея начинают шельфовую часть наших северных краевых морей (рис. 5б). Аналогичная ситуация и с реками, впадающими в Балтийское и Северное моря: Западной Двиной, Вислой, Рейном, Эльбой. Дельта Нила (Средиземное море) тоже относится к данному типу. По аналогии с реками пассивных окраин Атлантического типа, таких как Амазонка, Парана, Нигер, Конго, можно заключить, что дельты наших северных морей также располагаются вдоль зон различных трансформных разломов, возникших на раннем этапе рифтовой эволюции окраины (рис. 5в). Подтверждением этого служит активный трансформный разлом, проходящий через устье Лены.

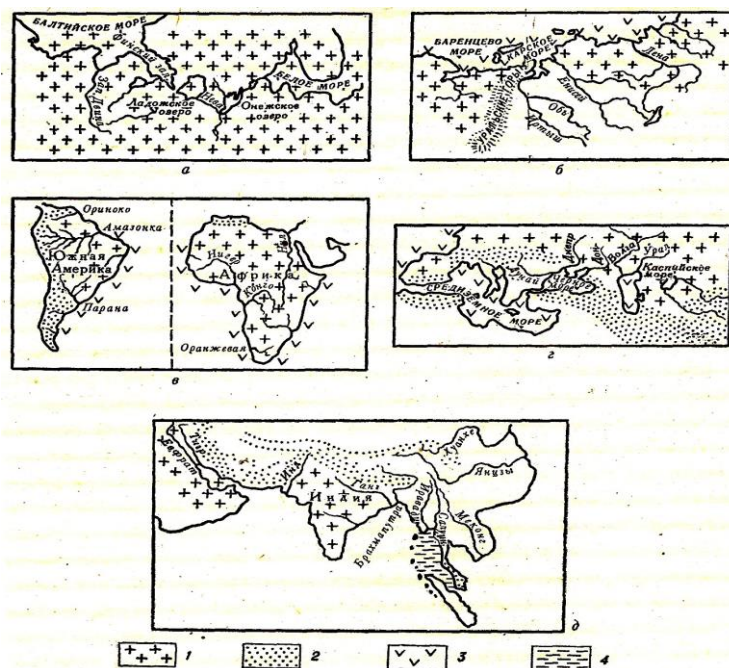


Рис. 5. Тектоническое положение крупных дельт: 1 – кратон, 2 – зоны мезокайнозойской складчатости, 3 – зоны с корой переходного типа, 4 – окраинное море.

Значительное количество дельт располагается в пределах активной окраины мегашва сжатия. Здесь можно выделить два преобладающих типа разгрузки во внутренние моря и в бассейны и моря, расположенные по периферии зоны «А». Первый случай характерен для европейского

континента с его внутренними морями, маркирующими зрелую стадию «захлопывания» при столкновении континентов (рис. 5з). Например, Терек, Кура, Риони впадают в южную часть Каспийского моря; Прут, Днепр, Дон, Днестр и Дунай – в Черное море; По и Эбро – в различные участки Средиземного моря. Наличие внутренних морей внутри складчатого пояса характеризует незавершенность этапа захлопывания. При не ортогональном столкновении, сначала возникает краевой прогиб, положение которого предопределено тектоническим швом, например, Месопотамский краевой прогиб перед зоной смятия Загрос. Здесь русла Тигра и Евфрата осуществляют периферийный дренаж горных складчатых сооружений, и их объединенная дельта располагается в Персидском заливе на коре континентального типа.

При дальнейшем подвиге Аравийского полуострова, вследствие раскрытия Красного моря, произойдет захлопывание данного участка в районе Ормузского пролива, и Персидский залив превратится во внутреннее море. Затем, в процессе подвига, должна произойти переброска зоны подвига в интенсивно опускающуюся уже сейчас низменность на Аравийском полуострове. Персидский залив откроется вновь уже вдоль низменности, но лишь для того, чтобы захлопнуться окончательно. При этом объединенная дельта переместится непосредственно на окраину Аравийского полуострова с выходом в открытый Индийский океан и будет располагаться на коре переходного типа вплоть до ее контакта с океанической корой. Направление развития дельты будет радиальным по отношению к этому контакту. На таком этапе развития находятся дельты Инда, Ганга и Брахмапутры. Очевидно, что дельты внутренних морей имеют меньший срок жизни (рис. 4д).

Тихоокеанское окончание Альпийско-Гималайского пояса сжатия представлено задуговыми морями типа Андаманского, Южно-Китайского, Восточно-Китайского и др. Здесь располагаются дельты крупных рек, таких как Иравади, Салуин, Меконг, Янцзы, Хуанхэ и Амур (см. рис. 5д). Эти реки осуществляют дренаж значительной части горных сооружений пояса. Большая высота горных сооружений, обилие осадков обеспечивают высокую энергетичность этих рек.

Замкнутость задуговых морей создает хорошие условия для аккумуляции и сохранения дельтовых отложений. Как правило, окраинные моря с одной или нескольких сторон ограничены активными окраинами с действующими зонами Бениоффа. В аналогичных условиях располагаются дельта Магдалены, впадающей в Карибское море, и дельта Юкон, впадающего в Берингово море.

Последний тип дельт – это дельты, расположенные в пределах зоны «Б». Малая площадь водосборного бассейна при малом поперечном сечении и крутом спаде рельефа является не оптимальной для развития крупных рек. Существует всего две реки (Фрейзер и Снейк-Колумбия), которые можно отнести к разряду крупных. Дельты их располагаются в непосредственной близости от зон подвига и даже достигают их. Сопоставление тектонических положений водосборных бассейнов и дельт представлено в таблице 2.

## Геодинамический анализ местоположения крупных рек

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ТИП ЗОНЫ ДЕЛЬТЫ	КРАТОН	ПАССИВНАЯ ОКРАИНА			АКТИВНАЯ ОКРАИНА				
		Внутреннее море, озеро	Краевое море	Трансформный край	Пассивный край	ТИП А		ТИП Б	
						Внутреннее море	Задуговое море	Трансформный край	Активный край
АКТИВНАЯ ОКРАИНА	АКТИВНАЯ СТОРОНА ЗОНЫ БЕНИОФФА (Ба)							Фрейзер, Снейк-Колумбия	
	ПАССИВНАЯ СТОРОНА ЗОНЫ БЕНИОФФА (Бп)				Рио-Колорадо, Рио-Негро		Магдалена		
	ГОРНОСКЛАДЧАТАЯ ОКРАИНА ЗОН И ПАЛЕОЗОН СТОЛКНОВЕНИЯ КОНТИНЕНТОВ (А)	Аму-Дарья, Сыр-Дарья	Ганг (с Брахмапутрой и Мегхной) (1640/1330), Инд (970/240), Анадырь, Кускоквим, Юкон (840/210)			Кура, Терек, Дунай (817/205), Кубань (57,9/11,7)	Амур (1855/355), Хуанхэ (745/26,6), Янцзы (1800/888), Меконг (810/438), Иравади	Колорадо	Тигр, Евфрат
КРАТОН (К)		Св. Лаврентия (1200/450), Нельсон, Бак	Нигер (2090/200), Конго (3800/1200), Уругвай	Сан-Франциску, Токантинс					
ПЛАТФОРМА (П)	Дон (422/21,6)	Сев. Двина (357/105), Зап. Двина, Нева (281/78,4)			Волга (1360/245), Днепр (504/43)				
СМЕШАННЫЙ ТИП	СВОДОВОЕ ПОДНЯТИЕ + К				Замбези (1330/100)	Нил (2870/35)			
	ПАЛЕОРИФТОВЫЙ КРАЙ + К				Оранжевая, Муррей				
	Бп + К		Лена (2490/533)	Амазонка (6300/6300), Парана (с Уругваем) (2800/470)	Ориноко (990/1100), Маккензи (1800/330), Сена				
	А + К				Миссури, Миссисипи (3300/490), Рейн (с Маасом) (249/90)				
	К + П		Хатанга, Оленек, Енисей (2580/577)		Висла, Одра				
	П + А		Печора (322/108), Обь (2990/397)						
	А + П		Индирикка (360/50,2), Колыма (647/103), Яна (238/34,9)						

Легко заметить, что максимальным потенциалом обладают водосборы горноскладчатых окраин, далее идут пассивные стороны зон Бениоффа. Включение этих типов в ситуацию последовательного дренажа, например с кратонами или платформами, существенным образом увеличивает совместный потенциал.

Высокий рельеф обеспечивает одновременно и ледниковое питание и является барьером для циклонов, вынуждая их сбрасывать влагу в предгорьях. Поэтому при прогнозах размеров паводков стремятся определить различные параметры кумуляции. Например, запасы снега, водонасыщенность циклона, условия стока. Понимание этого факта позволяет логически обосновать необходимые в каждом конкретном случае защитные и профилактические мероприятия. Например, очевидно, если водосборный бассейн залесен, то скорость стока замедляется.

В левом столбце таблицы составные сокращения обозначают последовательность дренирования. Цифры в круглых скобках около названий рек **Примечание** означают: первая цифра – площадь водосборного бассейна, вторая цифра – среднегодовой сток реки.

Кроме того, в зоне леса существует значительный почвенный покров, осуществляющий инфильтрацию вод внутрь. Это как бы дополнительный отток, замедляющий процесс скатывания воды по склону. Такую же роль играют болота в зоне водосборного бассейна. Они аккумулируют

значительный объем воды и постепенно растягивают отдачу ее на все лето. Следовательно, рубки леса и осушение болот в зоне водосборного бассейна должны быть строго регламентированы. Но это мероприятия профилактические, и они лишь снижают уровень пика наводнения за счет растягивания процесса накопления воды во времени.

Защитные мероприятия предназначены для работы непосредственно с высокими уровнями вод. Цель предотвратить затопление значительных территорий. Реальными являются три направления:

- 1). Кумуляция максимума вод в зоне русла за счет повышения его бортов (валы, дамбы, подсыпка очень низких пойм грунт
- 2). Углубление и спрямление русел (увеличивается скорость и объем переносимой руслом воды),
- 3). Аккумуляция вод (плотины для растягивания во времени пика паводка, а заодно и для накопления воды на жаркое время. Если река получает интенсивное питание на всем простираии русла, т.е. водосборный бассейн имеет, отвод в близлежащие котловины, отвод с помощью ливневой канализации в городах) большую протяженность, то тогда строят каскад плотин (Волга, Дон, Днепр, Зея и др.). В Китае для мощного водосборного бассейна реки Хуанхе построена система каскадов с плотинами, расположенными в верховьях малых рек питающих Хуанхе (упреждающий перехват паводка).

Разновидностью кумулятивных наводнений являются **зажоры**, которые возникают в основном осенью за счет шуги – рыхлых кусков внутриводного льда и мокрого снега, которые образовались в верховьях реки. Верховья рек, находятся в горах и там осенью температура воздуха и почвы ниже, чем в низовьях. Но так как динамика потока в горах достаточно высока, то лед не успевает образовываться. При этом возникают переохлажденные струи воды, которые из-за большей плотности опускаются вниз и движутся с потоком. Такую струю в отдельности можно рассматривать как кумулятивную. Фактически – это особое фазовое состояние воды в струе. При контактах с более теплыми струями в нижнем течении реки происходит фазовый переход и по краям струи возникает снежно-ледовая фаза, называемая шугой. Она задерживается различными неровностями русла (изгибы, отмель и др.) и начинает присоединять к себе все новые порции, всплывая и перегораживая русло вначале сверху, а потом от бортов и вглубь. Возникает плотина, постепенно закрывающая внутренний проход для воды (полная аналогия с закрывающейся пастью хищной рыбы, отсюда и название – зажор). Русло может быть перекрыто на 80% и настолько же снизится его пропускная способность, что, несомненно, вызовет подъем воды и затопление прибрежных участков с последующим промерзанием. Затопление носит пульсирующий характер, давая возможность образоваться мощной, слоистой как пирог, наледи. Фактически – это перекрытие узкой части водостока и переливание воды через края (рис.2).

**Заторы** на реках тоже приводят к наводнениям такого же типа. Фактически, это ледяная плотина, как правило, возникающая из-за разности сроков вскрытия реки весной. Наиболее распространено это явление на длинных меридиональных реках. Весной раньше и лучше прогреваются горные участки в верховьях рек, расположенные в горах и там начинается половодье и ледоход, а внизу, ближе к дельте, лед еще прочен, и поэтому он задерживает прибывающие льдины, создавая тем самым плотину (рис.2).

**Наводнения от ветрового нагона.** Ветровой нагон возникает в результате деятельности тропических циклонов у побережий. По сравнению с циклонами средних широт они имеют меньший диаметр, большую скорость вращения и меньшее давление в центре, а также больший запас влаги. Диаметр зоны с ураганными скоростями в атлантических тропических циклонах  $2 \cdot 10^4 - 1.5 \cdot 10^5$  м, в тихоокеанских до  $2 \cdot 10^5$  м и даже  $3 \cdot 10^5$  м. Диаметр зоны штормовых ветров и ливней  $10^5 - 6 \cdot 10^5$  м в атлантических и  $2 \cdot 10^5 - 9 \cdot 10^5$  м, а изредка до  $1.5 \cdot 10^6$  м в тихоокеанских. Следствием сильных циклонов является сильный ветер,двигающий большую массу воды волнами на берег. Согласно бытующим представлениям именно так возникает нагонное наводнение.

Так ли это? Тропический циклон не только обладает большими скоростями ветра, но также имеет значительный перепад давлений между центральной частью («глазом бури») и периферией циклона. Установлено, что понижение атмосферного давления в центре циклона только на 1 мм ртутного столба может вызвать повышение уровня океана в этом месте на 0.13 м. Если же давление падает на десятки миллиметров, что нередко бывает во время тайфунов, то на поверхности воды появляется возвышенность размерами в метры и протяженностью более  $1.5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$  м. Это, так называемая длинная (стационарная под циклоном) стоячая волна. Она возникает из-за комплексного действия ветрового нагона и всасывающего действия центра циклона (рис.6).

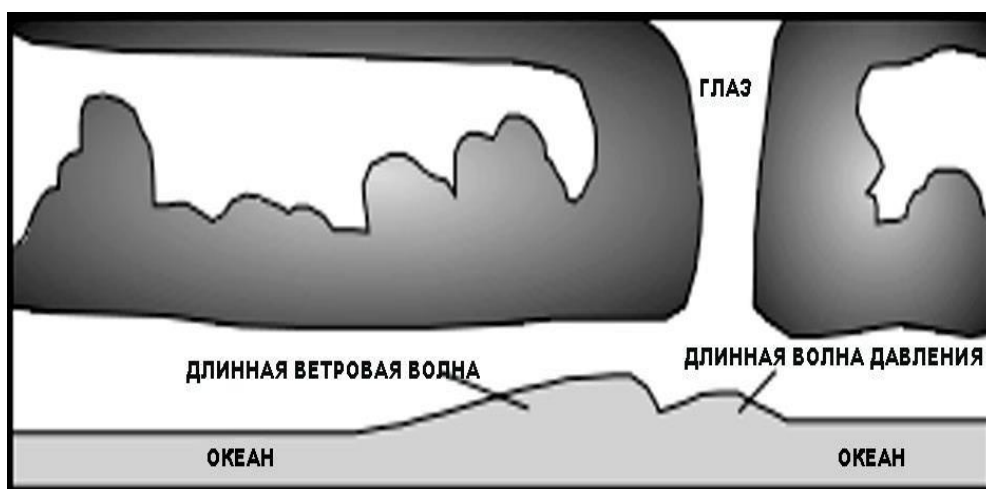
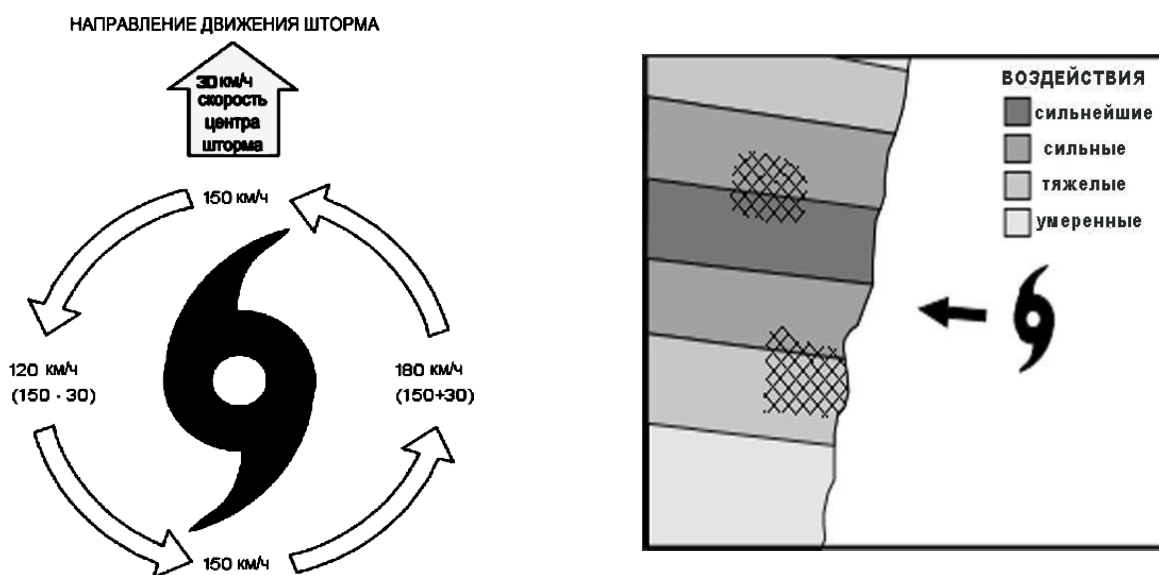


Рис.6. Схема расположения комплексной длинной волны под центром циклона. В центре циклона на длинную волну накладываются сейши – свободные хаотические колебания воды без направленного перемещения вдоль поверхности воды

Это комплексное кумулятивное образование (рис.7) движется вместе с циклоном в сторону берега. В низменных береговых участках вся приподнятая за счет длинной волны и нагона масса воды с мощными волнами в авангарде надвигается на берег, создавая ситуацию устойчивого затопления и разрушения инфраструктур берега [2].

Устья рек являются наиболее низменными и поэтому часто затопляемыми участками. Форма устьевых зон в плане напоминает воронку, т.е. наш водосток, но повернутый наоборот. В отличие от паводковой ситуации в данную форму не наливается, а «затаскивается» пласт воды (указано стрелкой на рисунке 2 правый). Иными словами, наша модель снова реальна и успешно объясняет принцип нагонного наводнения. При этом роль поставщика больших объемов воды выполняет комплексная длинная волна и непосредственно ветровой нагон.

Величина ветрового нагона зависит от степени совпадения направления движения циклона и составляющих вращения (рис.7 левый). Именно поэтому зона максимальных воздействий, представленная на рисунке 7 (правый), расположена асимметрично относительно центра циклона. Сейши не играют существенной роли.



*Рис.7. Слева - схема распределения скорости ветров в штормовом циклоне, справа - схема воздействия циклона на береговую зону с учетом скоростей вращения и поступательного движения циклона*

Барическое поднятие уровня моря обычно достигает 1 – 1,5 м, редко 2,5м; ветровые волны, обусловленные собственно нагоном могут достигать высоты 8– 12 м; короткие волны (сейши) – максимум до 2,5 м. Данные исторических наблюдений показывают, что уровень моря (с учетом высоты волн) может подняться на 4 – 5 м на Охотском побережье, 6 – 8 на атлантическом берегу США, 8 – 10 м – Япония, Филиппины, Гавайи, 11 – 12 м – дельта Ганга, Бангладеш, 12 – 13 м – в Австралии. Передняя волна нагона идет стеной высотой в несколько метров, опережая максимум скорости ветра на время до получаса (скорость поступательного движения тропического циклона

11-14 м/с). Максимальный уровень нагона держится  $6 \cdot 10^2 - 1.2 \cdot 10^3$  с, затем до  $3.6 \cdot 10^4$  с – более низкий. Если устье реки, в которую входит такая волна, представляет собой конусообразную ловушку, то кумулятивный эффект резко возрастает.

**Цунамигенные наводнения.** Воздействие волн цунами носит ярко выраженный кумулятивный эффект. Как это происходит? В результате землетрясения вблизи побережий океана (как правило, у активных окраин континента) происходят вертикальные и горизонтальные подвижки дна океана. Вертикальное смещение значительной площади дна обычно не велико, не более 5 м, но очень резкое, и это приводит к такому же, смещению всей толщи воды над зоной возмущения. Учитывая, что длина океана составляет тысячи километров, а глубина воды над зонами землетрясений не более 2000 – 4000 м, то мы вправе представить данную ситуацию в виде модели мембраны, по концу ко-торой наносится удар. Только с позиций такой модели можно объяснить, почему по поверхности воды от эпицентра распространяются не заметные волны, имеющие малые амплитуды (менее 1 м), очень большую длину (более  $5 \cdot 10^5$  м) и высокую скорость распространения (220 – 280 м/с). При подходе к берегу, глубина воды начинает резко уменьшаться, что вызывает подъем передовой части волн, сопровождаемый рядом нелинейных явлений.

Трение нижних слоев воды о дно, затормаживает движение и одновременно вызывает как бы опрокидывание передней части волны вперед в виде «хищного клюва». Вся же остальная часть волны продолжает прибывать к берегу вслед за передовым валом и, таким образом, создается зона сжатия (кумуляции), *значительно поднимающая весь уровень поверхности волны*. Прибрежную ситуацию часто пытаются моделировать с помощью моделей уединенных волн (солитонов). Ситуация стягивания массы воды к главной волне действительно существует. Об этом свидетельствует обнажение мелководной части при подходе первой волны цунами. Дно обнажается на значительном расстоянии. Но это объясняет лишь структуру волн. Суть же наводнения состоит в надвигании на берег существенно приподнятого и длинного пласта воды.

Скорости надвигания достигают 8.3 – 14 м/с, что приводит к образованию гигантских потоков, обладающих колоссальной, разрушительной энергетикой. Существуют палеоданные о заплесках волн на высоту до 500 м. Так как над эпицентром цунами существовал колебательный режим, то к берегу могут прибывать последующие колебания в виде последовательности 2 – 3, реже 5 растянутых в пространстве и времени волн (через  $6 \cdot 10^2 - 1.8 \cdot 10^3$  с). Упругий характер распространения цунамигенных волн во всей толще воды, служит причиной их сверхдальнего и сверхбыстрого распространения (до 280 м/с).

В настоящее время в оценках поражающего воздействия цунами превалирует акцент на высоту передовых волн цунами и субъективный перечень возможных разрушений. Именно так построены шкалы волн цунами Ииды и Имамур, Амбрасейса и др. Нам представляется это неправильным, так как при таком подходе полностью отсутствует эффект кумуляции водных масс.

Какой бы высотой не обладала волна цунами, радиус поражения за счет обрушения волны на берег не должен превышать высоту волны в 2 - 3 раза. Таким образом эффект воздействия непосредственно волн распространяется не более чем на 100 м вглубь берега. В то же время все видеосъемки цунами 2004 в Ю.В. Азии демонстрируют разрушения на расстоянии нескольких километров вглубь суши. С лица земли исчезли даже целые острова; город Банда Ачех был уничтожен наполовину. Из видео-съемок абсолютно очевидно, что основной объем разрушений, и наибольшее число человеческих жертв приходится на потоки воды глубиной 1 – 2 м, несущиеся по улицам приморских городков и поселков, находящихся далеко от берега и зоны воздействия высокой волны. Оценка по указанным шкалам не позволяет нам судить о полной энергетике воздействия, так как там вообще не присутствует подобная информация [1].

В то же время в практике зарубежных исследований появилась форма представления воздействия волн цунами в виде параметров набегания волны (заплеска) (рис.8, левый). Это дает косвенное представление об энергии надвигания пласта воды.

Известно, что волна в океане имеет длину, измеряемую несколькими сотнями километров (на рисунке обозначено А). При подходе к берегу, длина волны сжимается до нескольких десятков километров (рис.8, правый). Связано это с изменением глубины океана и с торможением волны о поверхность дна океана (Б, В). В прибрежной зоне в результате трения возникает не только эффект замедления скорости и опрокидывания волны, но и достаточно резко проявляются эффекты дисперсии волн. Однако самое важное это то, что происходит подъем общего уровня моря в прибрежной зоне.

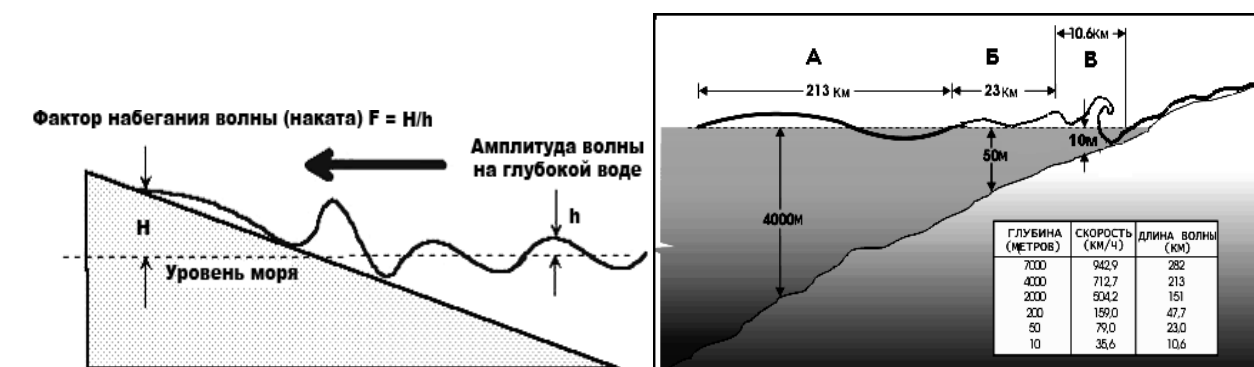


Рис.8. Слева – схема оценки параметра «забегания» волны цунами. Справа – схема изменения характера волн цунами при подходе к берегу

Согласно всем имеющимся съемкам морфологически заметно выражена только передовая часть волны, так как именно здесь высота волны начинает увеличиваться до 2 – 3 м в районе шельфа (при плавно спадающей высоте хвостовой части в 400 – 800 м, фаза Б). И лишь непосредственно, в зоне видимости у берега, когда глубины уменьшаются до 10 – 50 м, кумулятивный и нелинейный эффекты вызывают увеличение высоты передовой части волны до 8 – 20 м (длина спадающей хвостовой части сокращается до 300 м). Применительно к рисунку это должно выглядеть так. Площадь

приподнятых полуволн фаз Б и В крайне мала и не позволяет рассматривать эти фазы как самостоятельные, скорее всего это дисперсные фазы. Следовательно, остальная часть площади надвигающейся массы воды должна быть обеспечена за счет общего поднятия уровня воды в прибрежной и шельфовой зоне до 4 м. Именно это и видно на всех видеосъемках, когда водой затапливаются первые и даже вторые этажи.

Кумулятивный эффект вызывается не высотой передовой волны, которая разбивается на берегу, а надвигающимся пластом воды огромной протяженности. Этот же пласт воды, несущийся вверх по склонам со скоростью более 40 км/час, вызывает все разрушения на улицах селений и городов и вызывает бурное (скоростное) наводнение, приводящее к многочисленным жертвам. Действительно силовое воздействие  $1 \text{ м}^3$  воды двигающегося со скоростью около 11 м/с будет достигать  $4 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ . Редкое здание рассчитано на подобное горизонтальное воздействие. Такой сценарий позволяет предложить совершенно иные принципы классификации мощи цунами [2].

По спутниковым данным следует определять объем приподнятой полуволны в океане и ее скорость, что даст возможность определять кинетическую энергию надвигающегося водного пласта. Это позволит составить карты риска затопления и ударного воздействия волн цунами на основе параметра «энергии забегания» воды вверх по склону.

Таким образом, можно утверждать, что и в случае цунамигенного наводнения мы тоже можем оперировать моделью водостока. Использование универсальной модели позволяет использовать результаты такого моделирования в задачах прогноза и превентивной защиты от наводнений.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Иванов О.П. Природа мегацунами и возможности прогноза. «Синергетика. Труды семинара». Материалы конференции «Самоорганизация и синергетика». М.: МГУ. №8, 2006., с.294-307.
2. Мазур И.И., Иванов О.П. Опасные природные процессы. М.: Экономика, 2004.
3. Михайлов В.Н. Гидрология: Учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А.Добролюбов. 2-е изд. исп. М.: Высш. шк., 2007, 463 с.
4. Audley-Charles M. G., Curray J. R., Evans G. Location of major deltas, – Geology, 1977, v.5.
5. Potter P. E. Significance and origin of big rivers. – J. of Geology, 1978, vol. 86.

**GEODYNAMIC ANALYSIS OF FLOODS ON RIVERS. (CUMULATIVE-DISSIPATIVE APPROACH).**

**Ivanov O.P**

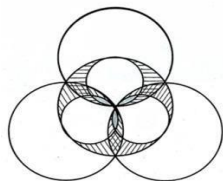
**Annotation.** The catchment basin, the river and the delta zone together make up a complex open dipole system. In it, the role of accumulator of high potential water energy is performed by the catchment subsystem, channel zones are cumulative transit zones of potential water energy, and estuarine zones are dissipators of this energy, minimizing its level as much as possible. It is convenient to represent such a system in the form of a "drain" model, which allows us to consider all types of floods in its various sections and at the same time give a comparative assessment of the potential of river systems as dipole formations from tectonic positions.

**Keywords:** drain, dipole, catchment, delta, channel.

**REFERENCES**

1. Ivanov O.P. The Nature of Megatsunamis and Forecasting Possibilities. "Synergetics. Proceedings of the Seminar." Materials of the Conference "Self-Organization and Synergetics." Moscow: Moscow State University, No. 8, 2006, pp. 294-307.
2. Mazur I.I., Ivanov O.P. Dangerous Natural Processes. Moscow: Ekonomika, 2004.
3. Mikhailov V.N. Hydrology: A Textbook for Higher Education Institutions / V.N. Mikhailov, A.D. Dobrovolsky, S.A. Dobrolyubov. 2nd ed. Moscow: Higher School, 2007, 463 pp.
4. Audley-Charles M.G., Curray J.R., Evans G. Location of Major Deltas. – Geology, 1977, vol. 5.
5. Potter P.E. Significance and Origin of Big Rivers. – Journal of Geology, 1978, vol. 86.

УДК 550.34; 303.093.7



## НЕЛИНЕЙНАЯ ДИСКРЕТНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ В СВЕТЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Иванов О.П., Иванова В.С.*

**Аннотация.** На основе дискретной модели геофизической среды, развитой ранее, и универсального алгоритма самоорганизации структур адаптации применительно к геофизическим средам показана иерархия процессов адаптации систем грунта к сейсмическим колебаниям и выделены критические амплитуды колебаний, определяющие переход от периодической к квазипериодической перестройке структур при развитии землетрясения. Развита методика определения мер устойчивости и адаптивности геофизической среды с использованием значений радиусов изосейст или данных мультифрактального анализа, что позволило классифицировать, грунты по их демпфирующей способности при данной мере устойчивости системы. Сделан вывод, что решение ключевых проблем сейсмологии требует перехода от континуальной линейно-упругой модели к дискретной нелинейной модели геофизической среды с учетом универсальных свойств нелинейных хаотических систем.

**Ключевые слова:** универсальность, сейсмология, нелинейность, дискретность хаотические системы.

**Введение.** Сейсмический процесс в земной коре и верхней мантии является следствием разрядки тектонических напряжений и носит все черты, присущие неравновесным самоорганизующимся необратимым процессам. Используемые в настоящее время модели сейсмического режима и очага землетрясения, как правило, базируются на представлениях о геофизической среде как о сплошной, разрушаемой в момент землетрясения плоским разрывом (разломом). Континуальные представления о среде позволили решить многие задачи сейсмологии, сейсморазведки, геофизики и геодинамики, связанные с моделированием сейсмического режима, объяснением процессов, сопровождающих подготовку землетрясения, деформирование горных массивов в результате горных выработок, деформирование верхних твердых оболочек Земли под действием тектонических сил и др.

Дальнейшее развитие сейсмологии требует привлечения подходов нелинейной динамики для полного понимания термодинамики процессов в очаге и учета иерархичности процесса отклика систем грунта на сейсмические воздействия. В настоящее время признано, что эволюция

### *Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем*

систем (включая и системы литосферы) является немонотонной и сопровождается прохождением кризисных состояний. Часть из них являются катастрофическими для локальных подсистем и сопровождаются разрушением сплошности среды, например с помощью землетрясений. Эволюция системы через локальные катастрофы подсистем регулируется универсальным дирижером - самоорганизованной критичностью [1,2]. Представления о самоорганизации предполагают возможность выделения из большого числа переменных, описывающих систему, малого числа переменных, названных параметрами порядка [3], которым вблизи точек неустойчивости системы (точек бифуркации) подчиняются все другие переменные. В этих точках, отвечающим неравновесным фазовым переходам и самоорганизации диссипативных структур, реализуются либо периодические, либо квазипериодические колебания (автоволны), обеспечивающие тот или иной механизм самоорганизации структур. Критические точки (точки бифуркаций) маркируют периоды неравновесных хаотических состояний системы и готовность системы перейти к более совершенной структурной организации. В этом состоянии высокая чувствительность системы к малым флуктуациям внешней среды обеспечивает самоорганизацию её диссипативных структур за счет внутренней энергии [4, 31, 32].

Критические значения управляющего параметра при переходе от одной структуры среды, потерявшей устойчивость, к другой более устойчивой, связаны иерархической последовательностью. Процессы структурных перестроек в критических точках носят универсальный характер, так как инвариантны к внешним условиям и исходной структуре среды. Это объясняет причины универсального характера сохранения иерархического, блокового строения для столь различных явлений, как деформирование литосферы под действием тектонических сил, дробление горной породы взрывами, измельчение торфа на мельницах, реологический взрыв и т.д. [1].

Протекая в неоднородной, иерархически самоподобной среде, сейсмический процесс сам несет черты иерархичности, дискретности и автомодельности. Так как среда является кумулятивно – диссипативной, то накапливаемая в структурных объемах среды потенциальная энергия диссипируется в основном на самоподобных подсистемах геологических разломов различного ранга или через фокусирующие структуры [1, 31, 32].

**Универсальность свойств нелинейных динамических систем с самоуправляемой обратной связью.** Синергетика [2,5] (нелинейная динамика) стимулировала формирование новых взглядов на кинетику и динамику процессов, обеспечивающих самоорганизацию структур в открытых системах различной природы. Для описания пространственных и временных структур в сложных системах, далеких от состояния равновесия, методы синергетики используют представления о самоорганизации диссипативных структур [4] вблизи неравновесных фазовых переходов. Это позволяет представлять эволюцию системы в виде иерархического ряда переходов от одной точки бифуркаций к другой, а связь между параметрами, контролирующими эти точки,

выражать через функцию иерархического типа, как для системы с обратной связью.

С другой стороны, развитие геометрической синергетики [6] привело к универсальному представлению о структуре, ставшего ключевым при междисциплинарном подходе к анализу поведения сложных систем. В живой и неживой природе под термином "структура" понимается способ организации элементов системы и характер функциональной связи между ними. В зависимости от типа рассматриваемой системы ее структура описывается с использованием различных элементов и характеристик связи.

Фуллер [6] для универсального описания структур систем различной природы ввел 50- градусную (вместо 90-градусной) векториальную систему координат и сформулировал принцип синергетического единства. Принцип учитывает иерархию квантов конфигурационной энергии и топологические возможности, связанные с 60-градусными координатами. Это позволило придать универсальность структуре, сделав ее инвариантной к типу рассматриваемой системы. Следующим знаменательным этапом в развитии представлений об универсальности понимания структур систем явился переход от описания их на основе представлений Эвклида к описанию на основе фрактальной (дробной) [7] геометрии, характерной для сложных систем различной природы.

Установлено, что свойства фрактальных структур, самоорганизующихся вблизи неравновесных фазовых переходов, обладают универсальными свойствами, так как они [8]:

- инвариантны к анализируемому объекту;
- способны к самоподобному размножению на различных пространственно-временных уровнях;
- способны передавать информацию системе о нарушении устойчивости своего структурного состояния;
- обладают свойствами адаптации к внешнему воздействию;
- способны к самоуправлению путем перестройки структуры в критических точках (вблизи неравновесных фазовых переходов);
- обладают памятью о прошедших структурных преобразованиях.

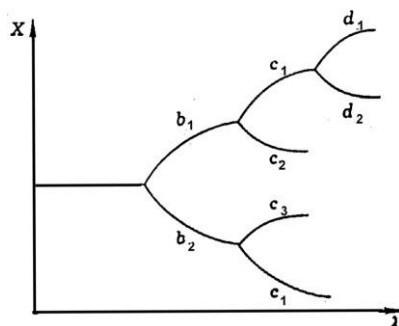
Универсальность свойств нелинейных динамических структур в условиях прогрессивной эволюции проявляется в живой и косной природе и обеспечивается двумя основными принципами синергетики – принципом минимума производства энтропии [4] и принципом подчинения [3].

Сейсмические процессы на основе подходов синергетики и фрактальных структур были рассмотрены ранее [1, 33, 34]. Если принять, что *назначение структуры литосферы в том, чтобы эффективно аккумулировать и диссипировать подкачиваемую в нее энергию*, то можно сказать, что система дискретностей (неоднородностей) литосферы осуществляет само- организацию путем выбора такой топологии структуры, при которой обеспечивается и максимальная степень

## ***Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем***

аккумуляции для последующей диссипации упругой энергии и реализуется принцип минимума производства энтропии. Это является проявлением адаптации системы к изменяющимся условиям существования.

Полученные к настоящему времени многочисленные геофизические наблюдения свидетельствуют о том, что проблемы, связанные с деформированием твердой Земли и сопровождающим это деформирование сейсмическим процессом, требуют учета структурных свойств среды. Эта структура образована неоднородностями различной природы: механической (геологические блоки, отдельности горной породы, трещиноватость и другие характеристики), химической (различный химсостав, наличие примесей, флюидов, газов и т.п.), физической (тепловые, гравитационные, магнитные неоднородности, различные агрегатные состояния вещества и т.д.). Быстрые динамические перестройки структуры среды, проявляющие себя в виде землетрясений, с позиций нелинейной динамики определяются не осредненными полями напряжений, а их экстремальными значениями, отвечающими точкам бифуркаций (рис. 1).



*Рис.1. Последовательность бифуркаций при увеличении параметра  $\lambda$  удаленности от равновесного состояния [4].  $X$  – параметр процесса;  $b_1, b_2, c_1, c_2, c_3, c_4, d_1, d_2 \dots$  - новые устойчивые решения, возникающие в точках бифуркаций после потери системой устойчивости.*

*Самоорганизующиеся системы делают возможным адаптацию к доминирующему типу окружающей среды путем реализации переходов от одной точки бифуркации к другой*

Ю.В. Ризниченко [9] для описания происходящих при этом в геофизической среде процессов ввел термин "энергетическая прочность". Это понятие означает, что при достижении определенной энергетической плотности в неоднородной среде система неоднородностей становится неустойчивой, и в какой-то момент в одной из точек неустойчивой, энергетически насыщенной среды происходит динамический срыв, сопровождаемый упругими сейсмическими волнами. Накопленная в среде упругая энергия трансформируется в другие виды - сейсмическую, тепловую, электромагнитную и т.д. Деформирование верхних твердых оболочек Земли происходит как в сейсмических, так и в асейсмических районах: в среду непрерывно поступает тектоническая энергия

со стороны находящихся под литосферой слоев верхней мантии. Кроме того, и в самой литосфере имеются источники тепловой энергии. Однако сейсмически активные регионы отличаются, как правило, повышенными градиентами скоростей движения земной коры, скоростями диссипации энергии на различных уровнях иерархического ряда дискретностей.

Учет иерархичности структурных перестроек, универсальности свойств нелинейных динамических систем и универсальности понятия структуры позволяют перейти к введению мер устойчивости и адаптивности грунтов к действию тектонических сил, необходимых для моделирования сейсмического режима, создания карт адаптивности грунтов к структурным перестройкам в районах землетрясений и прогнозирования землетрясений.

**3. Меры неустойчивого равновесия и адаптивности системы к структурным перестройкам.** Для сейсмических систем, понятие динамического неустойчивого равновесия является ключевым. К системам с устойчивыми динамическими процессами относятся системы, у которых наибольшие изменения начальных условий не приводят к заметным эффектам. Однако большинству динамических систем характерно усиление небольших возмущений начальных условий с течением времени. С точки зрения неравновесной динамики сложных систем вероятностный подход к анализу поведения систем без учета его динамического смысла не позволяет делать прогнозы о возможных неустойчивостях системы в процессе их развития [10,12]. Согласно А.М. Ляпунову траектория является устойчивой, если для сколь угодно малого отклонения, определяющего коридор устойчивости, можно указать такие ограничения для возмущений, при которых система не выйдет из этого коридора [2].

Понятие устойчивости, являющееся универсальным и применимым к системам различной природы, используется для описания постоянства какой-либо черты изучаемой системы. Далее мы рассмотрим условие сохранения самоподобия структурных перестроек для периодических систем. Согласно Фейгенбауму [3] для хаотических систем имеется определенный диапазон внешнего параметра, при котором поведение системы самовоспроизводится в каждый период времени  $T$ . Это отвечает сценарию удвоения периода  $T - 2T - 4T - \dots$ . Сохранение этой характерной черты динамической системы является признаком устойчивости динамической системы. Фейгенбаум установил, что для всех систем, испытывающих удвоение периода, существует, предельная скорость перехода к хаотическому движению, определяемая константой  $\delta = 4,669$ . По своему физическому смыслу  $\delta$  является мерой устойчивости динамической системы, определяющей переход от упорядоченной самоорганизации структур к хаосу. Динамическое поведение нелинейных хаотических систем контролируется законом обратной связи (рис.2).

Для таких систем характерна зависимость предыдущего  $x_n$  и последующего  $x_{n+1}$  значений переменной. В простейшем случае эта связь выражается соотношением [5]:

$$x_{n+1} = f(x_n, \lambda) \quad (1)$$

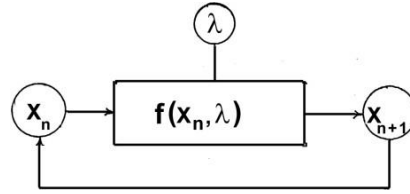


Рис. 2. Схема системы с обратной связью

где  $f$  - непрерывная функция;  $\lambda$  - параметр, управляющий обратной связью. Если выделить пороговые значения  $x = x^*$ , отвечающее достижению точек бифуркаций в процессе нелинейной динамики системы, тогда значение  $x^*$  может быть найдено из уравнения:

$$x^* = f^*(x^*, \lambda) \quad (2)$$

где  $f^*$  - дискретная функция;  $x^*$  называют неподвижными точками отображения. Устойчивость точки  $x^*$  определяется поведением отображения

$$\Delta x_{n+1}^* = \frac{df(x^*)}{dx} \Delta x_n \quad (3)$$

Для того чтобы  $\Delta x_n \rightarrow 0$  должно выполняться неравенство

$$\left| \frac{df(x^*)}{dx} \right| < 1 \quad (4)$$

Соотношение (4) является условием устойчивости точки  $x^*$ .

Фейгенбаум исследовал сложные системы квадратичного преобразования типа отображения Пуанкаре:

$$x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n) \quad (5)$$

При  $\lambda = \lambda^*$ , отвечавшему переходу от упорядочения к хаосу при достижении критического значения переменной  $x_n = x_n^*$ . Отношение  $x_n / x_n^*$  характеризует границы изменения управляющего параметра вплоть до которых величина  $\lambda = \lambda^*$  сохраняется постоянной, т.е. реализуется условие автомодельности:

$$x_n^* / x_{n+1}^* = 1/\lambda^* \cdot 1/(1 - x_n^*) \quad (6)$$

где  $1/\lambda^* = \Delta_i$  - мера устойчивости системы, а параметр  $1/(1 - x_n^*)$  определяет способность системы к перестройкам при  $1/\lambda^* = \text{const}$

Ранее [10-12,14] для систем, испытывающих удвоение периода соотношение (6) было представлено в виде универсального алгоритма самоорганизации структур адаптации:

$$x_n^* / x_{n+1}^* = \Delta_i^{1/m} \quad (7)$$

где  $\Delta_i$  - мера устойчивости самоорганизующейся структуры:  $m$  - показатель периодичности перестроек ( $m = 2, 4, 8, 16, \dots \infty$ ).

При  $\Delta_i = 1/\delta$ , где  $\delta$  - постоянная Фейгенбаума и  $m \rightarrow \infty$ , отношение  $x_{n^*} / x_{n+1^*} \rightarrow (x_{n^*} / x_{n+1^*})_{\max}$  является пределом адаптивности системы  $A_m^{\max} = 0,99$  (при  $m \cong 128$ ) к структурным перестройкам на последнем периоде (переход к хаосу). Предел адаптивности структуры к перестройкам характеризует самоподобные условия перехода системы от адаптации к деградации (разрушению) структуры, которое можно представить в виде

$$\Delta_i^{1/m} = 0,99 = \text{const} \quad (8)$$

Далее будет показано, что переходу от предела адаптивных перестроек системы к разрушению для системы с мерой устойчивости отличной от  $\Delta_i = 1/\delta$  отвечает спектр значений  $\Delta_i$ , соответствующих спектру перестроек  $m = 1, 2, 4, 8, 16, \dots \infty$ . При этом учитывается связь постоянной Фейгенбаума с золотой пропорцией (восьмой корень обобщенной золотой пропорции, обратная величина) [14], а также контролирующее влияние золотой пропорции на порог устойчивости структуры квазипериодических систем [15]. ( $\Delta_i = 0,618$  - первый корень обобщенной золотой пропорции).

Нами был принят следующий спектр мер устойчивости структур, детерминированный законом обобщенной золотой пропорции: 0,618, 0,465, 0,380, 0,324, 0,285, 0,255, 0,232, 0,213. К настоящему времени накоплена достаточно полная информация, показывающая, что золотая пропорция является универсальным критерием устойчивости систем и структур различной природы. В.Я. Цветковым [16] отмечено "... золотая пропорция "представляет" симметрию во многих явлениях окружающего нас мира... она действительно связана с фундаментальными проблемами современной науки. Золотые сечения и числа Фибоначчи, представляя гармоничность организации систем, выражают в тоже время постоянство и изменчивость структур живой и неживой природы. Особые свойства золотой пропорции позволяют ввести это, говоря словами Кеплера, математическое сокровище в разряд инвариантных сущностей гармонии". Отмечено также, что золотая пропорция, является кодом устойчивости структуры, генетически заложенном природой [17-20]. По-этому нельзя считать случайным, что обратная величина постоянной Фейгенбаума  $\delta = 4,669$  вплоть до второго знака отвечает восьмому корню обобщенной золотой пропорции  $\delta = 1/4,669 = 0,213$ , а динамическая устойчивость квазипериодических систем контролируется первым корнем обобщенной золотой пропорции  $\Delta_i = 0,618$  (обратная величина).

В отличие от периодических и квазипериодических систем, характеризующихся мерами устойчивости  $\Delta_8 = 0,213 = \text{const}$  и  $\Delta_1 = 0,618$  соответственно, системы с  $0,213 \Delta_i \leq 0,618$  являются

**Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем**

переходными, так как они могут достигать предела адаптации  $A^{\max} = 0,99$  путем реализации перехода от периодической перестройки вплоть до  $A_m = A_m^*$  к квазипериодической, связанной со снижением  $\Delta_i$  после каждого цикла перестройки на один ранг. В таблице 1 приведены значения  $m = m^*$  отвечающие переходу от периодической самоорганизации к квазипериодической и соответствующие значения меры адаптивности системы отвечающие

$$A_m^* = \Delta_i^{1/m^*} \tag{9}$$

$$A_m = \Delta_i^{1/m} \text{ при } m < m_x \tag{10}$$

Условию подобия перестройки структуры на границе перехода от периодической к квазипериодической структуре отвечает соотношение (7).

Здесь переходный порог адаптации  $A_m^*$  определяется взаимосвязью меры устойчивости структуры  $\Delta_i$  с числом перестроек ( $n = m - 1$ ); увеличению числа перестроек на 1 период отвечает снижение меры устойчивости на один ранг. Эту ситуацию демонстрирует диаграмма бифуркаций на рис. 1.

*Таблица 1*

Меры  $\Delta_i$  неустойчивого равновесия и адаптации  $A_m$  к структурным перестройкам динамических хаотических систем, детерминированные законом золотой пропорции

i	$\Delta_i$	$A_m = \Delta_i^{1/m}$						
		m						
		2	4	8	16	32	64	128
2	0,465	0,68		-	-	-	-	-
3	0,380	0,62	0,79	-	-	-	-	-
4	0,324	0,57	0,75	0,87	-	-	-	-
5	0,285	0,53	0,73	0,85	0,92	-	-	-
6	0,255	0,50	0,71	0,84	0,92	0,96	-	-
7	0,232	0,48	0,69	0,83	0,91	0,95	0,98	-
8	0,213	0,46	0,68	0,82	0,91	0,95	0,98	0,99

**Анализ мер устойчивости и адаптивности грунтов к структурным перестройкам при землетрясениях.** Рассмотрение сейсмической системы, как хаотической нелинейной динамической системы, позволяет использовать универсальные свойства этих систем в сейсмологии. При землетрясениях информационным показателем свойств геофизической среды является радиус изосейст, зависящий от сейсмической интенсивности (бальности). Среда, в которой протекает сейсмический процесс, сильно неоднородна. Вместе с тем исследования геоморфологических и

структурных характеристик среды выявили иерархическое самоподобное строение геофизических полей и неоднородностей [21-26]. Обнаружено также, что самоподобие проявляется и в распределении землетрясений по пространству и энергии. Из закона самоподобия следует, что иерархичность строения должна проявляться на различных пространственно-временных уровнях. Это позволяет перейти от анализа землетрясений в глобальном масштабе к изучению локальных неоднородностей сейсмичности в масштабах, порядка десятка километров. Проведенный анализ [1] показал, что в пределах малых площадок можно отыскать, сравнительно спокойные в сейсмическом отношении участки, где интенсивность сейсмических колебаний в 4-5 раз ниже, чем в соседних участках. Но вопрос состоит в том сохраняется ли наряду со структурным и энергетическое самоподобие? Предварительные исследования [1] землетрясений с  $K = 7, 8$  и  $9$  в период 1965-1972 г. показали, что применительно к малым площадкам ( $10 \times 10$  км) обнаруживается линейная связь между степенью сейсмичности для разных уровней иерархии. Но этот анализ проведен на основе процессов сейсмичности, проявляющихся на поверхности. Для анализа влияния глубинных процессов на характеристики сейсмичности был использован универсальный алгоритм (7) самоорганизации структур адаптации для хаотических нелинейных динамических систем [14]. Возможность его использования применительно к сейсмической геофизической среде вытекает из рассмотрения [1] горной породы как сложной блочно-иерархической системы, в которой некоторые из составляющих ее блоков способны обмениваться энергией, веществом и информацией с окружающей средой. В точках структурной неустойчивости системы (точках бифуркаций) происходит перестройка структуры, в процессе которой часть высвобожденной (лишней) энергии излучается в виде упругих волн. Это и есть та информация, которая требуется для анализа сейсмического процесса в условиях самоподобия неравновесных фазовых переходов (точках бифуркаций). Объем горной породы, сбрасывающий "лишнюю" упругую энергию, является сейсмоактивным блоком, изучение параметров которого позволит прогнозировать поведение других блоков в критических точках на различных пространственно-временных уровнях.

Если заменить сейсмический очаг сферой, равной по объему области, заполненной аф-гершоками, расположив ее центр на глубине  $H$  землетрясения, то этот центр можно принять за центр землетрясения и отсчитывать от его эпицентра расстояние до точки наблюдения [1]. Это позволило ввести важнейший показатель свойств грунта – радиус изосейст (расстояние от эпицентра землетрясения до изосейст различной балльности). Изменение радиуса изосейста при изменении сейсмической энергии на 1 балл, как будет показано далее, служит мерой устойчивости грунта. Представим с этой целью алгоритм (7) применительно к сейсмическим процессам в виде:

$$r_{n+1}^* / r_n^* = \Delta_i^{1/m} \quad (11)$$

где  $r_{n+1}^*$  и  $r_n^*$  - критические радиусы изосейст для предыдущей и последующей точки

**Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем**

бифуркаций при уменьшении сейсмической энергии на 1 балл. Критический радиус изосейст определяется соотношением [1]:  $r^* = \sqrt{S^* / \pi}$  (12)

где  $S^*$  - площадь изосейст, отвечающая границе перехода от одной балльности к другой.

Отношение  $r_n^* / r_{n+1}^*$  служит мерой адаптивности грунта к структурным перестройкам при уменьшении сейсмической энергии на 1 балл.

Шебалин В.В. [27] собрал высоконадежные данные ряда сильных землетрясений СССР, позволяющие установить зависимость между величиной радиусов изосейст различной балльности. Их использование дало возможность рассчитать меры устойчивости грунта и адаптивности системы к структурным перестройкам так как:

$$r_{n+1}^* / r_n^* = A_m = \Delta_i^{1/m} \quad (13)$$

при  $m \leq m^*$  и  $\Delta_i = \text{const}$

Анализ показал, что алгоритм [7] позволяет использовать относительные радиусы изосейст для установления меры устойчивости и адаптивности грунта к структурным перестройкам  $\Delta_i = \text{const}$ .

С этой целью полученные значения отношения  $r_{n+1}^* / r_n^*$  сравниваются с набором детерминированных значений  $\Delta_i^{1/m}$  (табл.1), заранее рассчитанных для спектра  $\Delta_i$  и значений  $m$ . Совпадение должно укладываться в интервал значений  $\Delta_i^{1/m}$  с точностью  $\pm 0,1$ . При  $r_n^* / r_{n+1}^*$  равным одному из значений  $\Delta_i^{1/m}$  таблицы, значение  $\Delta$  в таблице 1 отвечает искомой величине, пороговое значение  $A_m = A_m^* = \Delta_i^{1/m^*}$  устанавливается с учетом предельного значения  $m = m^*$  вплоть до которого периодические структурные перестройки происходят при  $\Delta_i = \text{const}$ . Эта граница в таблице представлена зигзагообразной линией.

Предел адаптации  $A_m^{\text{max}}$  при достижении минимальной меры устойчивости грунта  $\Delta_i = \Delta_i^{\text{min}} = 0,213$  с учетом алгоритма (7) при  $\Delta_i = 0.213$  и  $m^* = 128$  отвечает значению  $A^{\text{max}} = 0,99$ . Значение отношений  $r_n^* / r_{n+1}^*$  при изменении сейсмической энергии на 1 балл для различных районов землетрясения представлены в таблице 2 и на рис.3.

Проведенный анализ позволил выявить следующую закономерность. Для изученных землетрясений при изменении балльности от У111 до 111 реализовался весь спектр  $\Delta_i$ , причем многие районы при 1У-х - балльном

Таблица 2

Значение меры устойчивости ( $\Delta_i$ ) и пороговой адаптивности ( $A_m^*$ ) системы к перестройкам структуры при переходе от периодической к квазипериодической системе, для некоторых землетрясений, приведенных в [27]

	Значения $\Delta_i$ (1) и $A_m^*$ (2) при различных $\Xi$
--	---

Район землетрясения	№	Y111	Y11	Y1	Y	1Y	111
1.Красноводское	1	0,465	0,232	0,380	0,465	-	-
	2	0,68	0,98	0,79	0,68	-	-
2. Караткенское	1	0,232	0,380	0,380	0,285	0,465	-
	2	0,98	0,79	0,79	0,92	0,68	-
3. Чангарское	1	-	-	-	0,255	0,324	0,324
	2	-	-	-	0,96	0,87	0,87
4. Крымское	1	-	-	0,380	0,324	0,255	0,380
	2	-	-	0,79	0,87	0,96	0,79
5. Иссык-Кульское	1	-	-	-	0,324	0,380	-
	2	-	-	-	0,87	0,79	-
6. Вранчское	1	-	-	0,380	0,380	0,232	0,213
	2	-	-	0,79	0,79	0,98	0,99
7. Зангезурское	1	-	0,285	0,324	0,213	0,324	-
	2	-	0,92	0,87	0,99	0,87	-
8. Ашхабадское	1	-	0,285	0,465	0,324	-	-
	2	-	0,92	0,68	0,87	-	-
9. Дагестанское	1	-	0,324	0,255	0,232	0,255	0,380
	2	-	0,87	0,96	0,98	0,96	0,79
10. Казанджинское	1	-	0,213	0,285	0,285	0,285	-
	2	-	0,99	0,96	0,96	0,96	-
11. Гармское	1	0,255	0,324	0,324	0,324	0,255	-
	2	0,96	0,87	0,87	0,87	0,96	-
12. Андижанское	1	-	0,380	0,213	0,324	-	-
	2	-	0,79	0,99	0,87	-	-
13. Чхолтонское	1	-	0,213	0,380	0,232	0,232	0,232
	2	-	0,99	0,79	0,98	0,87	0,87
14. Шемаханское	1	-	-	0,324	0,380	0,255	-
	2	-	-	0,87	0,79	0,96	-
15. Горийское	1	-	0,285	0,255	0,324	0,285	-
	2	-	0,92	0,96	0,87	0,92	-

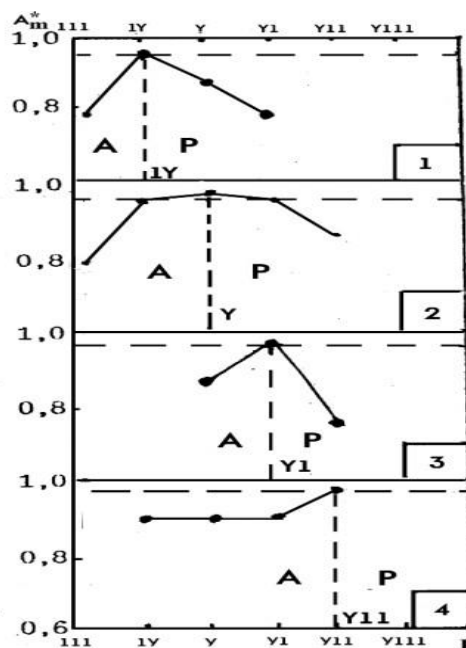


Рис.3. Смещение перехода от адаптации структуры грунта (область А) к разрушению (область Р) при достижении порога адаптации  $A_m = A_m^{max} = 0,96 \div 0,99$  при увеличении интенсивности (на 1 балл): 1 - Крымское, 2 - Дагестанское, 3 - Аишхабадское, 4-Казанджинское землетрясения (здесь использованы данные по радиусам изосейст, представленные в [2]).

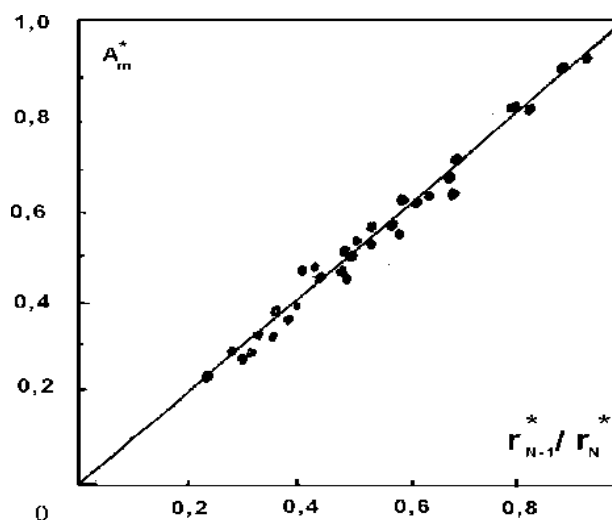


Рис. 4. Корреляция между пределом адаптивности грунта ( $A_m^*$ ) к структурным перестройкам и изменением радиусов изосейст  $r_{N-1}^* / r_N^*$  при снижении интенсивности землетрясения на один балл ( $r_{N-1}^*$  – радиус при большей балльности,  $r_N^*$  – при меньшей). Черные точки – данные измерения балльности, приведенные в [1] для Красноводского, Караткенского, Санаарского, Крымского, Иссык-Кульского, Вранчевского, Зангезурского, Аишхабадского, Горийского, Андижанского, Чхолтанского, Казанджинского, Гармского, Дагестанского и Шамаханского районов землетрясений.

Землетрясения достигали предела адаптации  $A_m^{\max}$ , т.е. переходили к стадии разрушения, однако наиболее устойчивые грунты достигали  $A_m^{\max}$  при У111 баллах (см. табл. 3). На рис. 4 поставлены отношения  $\gamma_{n+1}^* / \gamma_n^*$  (для 15 крупных землетрясений в СССР) с алгоритмом  $A_m^* = \Delta_i^{1/m}$ . Можно видеть удивительную корреляцию между ними, что указывает на высокую информативность и фундаментальность показателя радиуса изосейст сейсмического процесса.

Таблица 3

Сведения о землетрясениях [27]

Район	Период исследования	Координаты	К	Площадь	Число
Памир – Тянь-Шань	1955 - 1979	39,46 - 38,6 <sup>0</sup> , N 71,25 – 70 <sup>0</sup> , E	7 8	10,3	8963 2799
Кавказ	1962 - 1983	41,5 – 41 <sup>0</sup> , N 44,3 – 45 <sup>0</sup> , E	7 8	6	3043 1618
Калифорния	1932 - 1985	34,43 – 33,3 <sup>0</sup> , N 116 – 117,6 <sup>0</sup> , W	M 3 – 6,7	13,7	1651

Тестирование меры устойчивости и адаптивности сейсмической системы к структурным перестройкам при землетрясениях по данным мультифрактального анализа. Использование концепции мультифракталов в приложениях к различным проблемам структурообразования показало высокую информативность данных мультифрактального анализа и его полезность при решении практических задач в различных науках, в том числе и сейсмологии [1].

Мультифракталы по определению [7] являются множествами, содержащими подмножества с фрактальными размерностями, связаны со степенной зависимостью. Это означает, что мультифракталы являются нелинейной динамической системой с обратной связью, обеспечивающей самоподобное воспроизведение на различных пространственно-временных уровнях подобной структуры фрактальных подмножеств. Определение границ реализации обратной связи в мультифрактальных структурах требует установления динамической устойчивости структуры при внешнем воздействии (т.е. использования мер устойчивости структуры с фрактальной среды в ходе эволюции системы). Согласно известному принципу Ле-Шателье - Брауна, система стремится ослабить эффект воздействия и вернуться в положение равновесия, которое она занимала до внешнего воздействия. У. Эшби дал следующее определение адаптивности для биологических систем: "... форма поведения адаптивна, если она удерживает существенные переменные в физиологических пределах". Мы можем добавить, что система адаптивна, если она сохраняет свои функциональные связи или состояние гомеостаза в пределах линейного отклика на внешние воздействия

### *Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем*

без структурных перестроек или способна к структурным перестройкам при экстремальных воздействиях (состояние прогрессивной эволюции). С прогрессивными адаптационными свойствами систем непосредственно связана способность систем изменять симметрию структуры.

Г.В. Встовский [28,29] развил симметричную концепцию фракталов, рассматривая фрактал как объект, обладающий свойствами инвариантности к преобразованию, т.е. симметрией ( $\Phi$  - симметрией). Такая интерпретация фракталов позволила связать самоорганизацию мультифрактальных структур (типичных для сложных физических систем) с периодическим нарушением  $\Phi$ -симметрии в динамически развивающейся среде. В процессе этих нарушений возникают подсистемы с различной фрактальной размерностью (различной  $\Phi$ -симметрией). Эта концепция является основой для анализа эволюции фрактальных структур в различных науках, в том числе и сейсмологии.

Ранее проведенный мультифрактальный анализ структур, связанных с образованием на поверхности земли эпицентров землетрясений [1], показал возможность использования фрактального анализа с целью прогнозирования сейсмического процесса. Информативность анализа повышается при использовании мер устойчивости и адаптивности сейсмической системы к структурным перестройкам. Далее покажем, что использование универсального алгоритма самоорганизации структур адаптации и представлений с самоорганизации мультифракталов, как механизма адаптации структуры к внешнему воздействию, позволяет количественно описать динамические свойства фрактальной геофизической среды при переходе к хаосу. С этой целью могут быть использованы критические показатели  $f(\alpha)$  спектров, введенных в теории фракталов для определения критических показателей фрактальной среды.

Использование  $f(\alpha)$  функции позволяет описывать переход симметрия-дисимметрия, как совокупность взаимосвязанных множеств сингулярностей, каждое из которых характеризуется своим значением показателя  $\alpha$ . Критические параметры функции  $f(\alpha)$  являются показатели  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$ , характеризующие границы, в пределах которых система способна к адаптации путем самоорганизации мультифрактальных множеств, т.е. способна восстанавливать нарушенную  $\Phi$ -симметрию среды путем переходов "симметрия-дисимметрия". Эффективность использования показателей  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  в сейсмологии покажем на примерах анализа показателей сейсмичности трех сейсмических районов: Памир-Тянь-Шань, Кавказ и Калифорния. Сведения о землетрясениях в этих районах, взятые из геофизического банка ИФЗ РАН приведены в таблице 3.

Ранее применение методики мультифрактального анализа к сейсмичности рассмотрено в [1]. На рис. 5 показана сейсмичность в районе Памира, с характерной и для других районов землетрясении нерегулярной структурой, а на рис. 6 представлены  $f(\alpha)$  спектры сейсмичности. На их основе были определены  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$ , приведенные ниже в таблице 4.

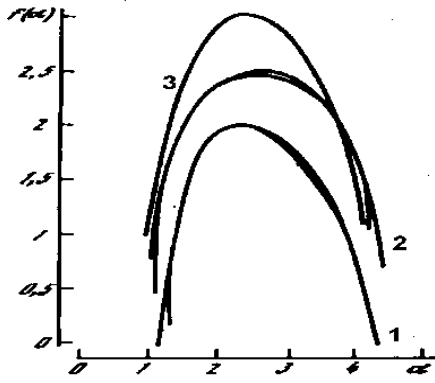


Рис. 5. Эпицентры землетрясений K=7(а); K=8(б) за 1968–1972 гг. Гарм ( $37,5^{\circ} \leq \lambda \leq 40^{\circ}; 68^{\circ} \leq \lambda \leq 72^{\circ}$ ).

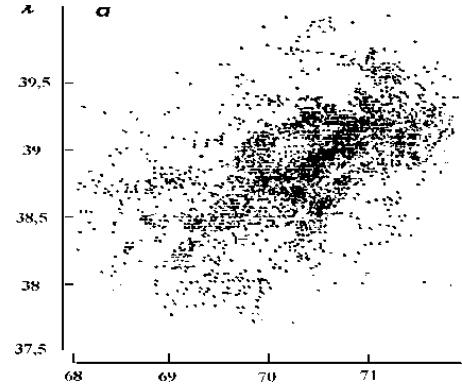


Рис. 6. Мультифрактальные характеристики  $f(\alpha)$ . 1 – Гарм; 2 – Джавахет; 3 – Калифорния. для Гарма и Джавахета нанесены два варианта. Для K=7 и K=8 они практически совпадают.

Из приведенных данных следует, что, действительно,  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  характеризуют границы реализации самоорганизующегося процесса землетрясения на стадии адаптации. Этот вывод следует из того, что отношение  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  с хорошим приближением отвечает универсальному алгоритму самоорганизации структур адаптации:

$$\alpha_{\min} / \alpha_{\max} = \Delta_i^{1/m} \quad (14)$$

при  $m = 1$ .

Значения», мер устойчивости  $\Delta_i$  для изученных районов землетрясений отвечают пороговые значения меры адаптивности

$$A_m^* = \Delta_i^{1/m} \quad (15)$$

(значения  $m^*$  при  $\Delta_i = \text{const}$  приведены в таблице 1).

Таблица 4

Данные мультифрактального анализа мер устойчивости и адаптивности сейсмических систем к перестройкам структур при землетрясениях (использованы данные по  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$ , приведенные в [27])

Районы	K	Критические значения $f(\alpha)$		$\alpha_{\min}$	$\Delta_i$	$m^*$	$A_m^*$
				—			
Памир –	7	1,182	4,317	0,274	0,285	16	0,92
Тянь - Шань	8	1,287	4,031	0,319	0,324	8	0,87
Кавказ	7	1,061	4,421	0,240	0,232	64	0,98
	8	1,035	4,295	0,246	0,255	32	0,96
Калифорния	-	0,955	4,120	0,232	0,232	64	0,98

Можно заключить, что сейсмичность в районе Кавказа и Калифорнии близка к пределу

## **Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем**

адаптивности  $A_m^* = A_m^{\max} = 0,99$ , так как мера устойчивости сейсмической системы близка к  $\Delta_i = \Delta_i^{\min} = 0,213$  (значения меры устойчивости системы  $\Delta_i = 0,232$ . на 1 ранг, а при  $\Delta_i = 0,255$  на 2 ранга выше минимальной). Памир - Тянь-Шань обладает большим ресурсом адаптивности геофизической среды, так как мера устойчивости системы на 3-4 ранга выше минимальной, отвечающей переходу к глобальному разрушению, когда система переходит в хаотическое состояние.

Несомненно, за мультифрактальным анализом сейсмичности большое будущее, так как фракталы являются запоминающими структурами о прошедших изменениях в системе [14].

В настоящее время мультифрактальная параметризация структур различной природы (в особенности для материаловедения) доведена до автоматизированной программы MFRDrom [30], позволяющей за несколько минут получить полную информацию по критическим параметрам мультифрактальных множеств с получением  $f(\alpha)$  спектров и  $D - q$  – спектров обобщенных размерностей Реньи.

Как показано в [1] использование мультифрактального анализа позволяет тестировать концентрацию энергии и концентрации асейсмических мест для различных сейсмических регионов. С учетом недавней информации в прессе о готовящемся запуске первого отечественного спутника для прогнозирования землетрясений, фрактальный анализ, как следует из данных приведенных в [1] и данном разделе может занять ключевое положение.

**Долгосрочное прогнозирование сейсмичности с использованием блочно-иерархической модели геофизической среды.** Решение проблемы долгосрочного прогнозирования землетрясений требует перехода от континуальной линейно-упругой модели к дискретной нелинейной модели геофизической среды. Такая модель была развита ранее [1] с использованием свойств нелинейных хаотических динамических систем, главным из которых является самоподобие и иерархия самоорганизующихся процессов в нелинейных хаотических средах.

Об эффективности той или иной модели судят по тому, насколько точно и на каких временах она дает прогноз поведения системы [5]. В решении задач о поведении хаотической среды в нелинейных условиях важное значение приобретает сравнение не траектории модели и объекта в одни и те же моменты времени, а характеристики, определяющие внутренние свойства изучаемых процессов. Это требует установления информационных показателей поведения системы в критических точках, отвечающих неустойчивости системы, и разработки алгоритма, определяющего связь между этими показателями в автотельных условиях.

К вопросам упорядоченности в хаотических системах было привлечено большое внимание еще в прошлом столетии. Вейерштрасс и др. ввели представления о непрерывной нигде не дифференцируемой функции. Как правило, такой функцией является функция, повторяющая себя на малых масштабах. Аналогами этой функции являются фрактальные множества. В качестве другого

примера приводят "дьявольскую лестницу", представленную на рис. 7.

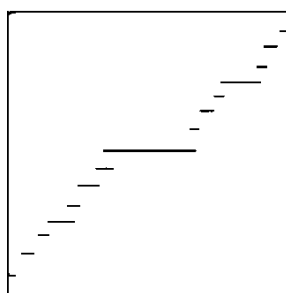


Рис. 7. Дьявольская лестница как пример непрерывной монотонной функции, производная которой почти всюду равна нулю [5]

Аналитически описать процессы, отвечающие не дифференцируемым функциям можно с использованием отображения Пуанкаре, если установить связь между параметрами устойчивости и адаптивности системы к структурным перестройкам в автомодельных условиях. Далее покажем, что связь между мерой устойчивости  $\Delta_i$  и адаптивностью ( $A_m^*$ ) системы к структурным перестройкам, представленная универсальным алгоритмом (7) позволяет прогнозировать поведение периодических и квазипериодических нелинейных хаотических сейсмических систем.

Применение принципов нелинейной динамики к прогнозированию неустойчивостей системы требует определения управляющего параметра и параметра порядка. В сейсмических процессах критическим условием является достижение критической скорости подкачки тектонической энергии (управляющий параметр), а параметр порядка - мера устойчивости системы в этой критической точке. Скорость подкачки тектонической энергии определяет скорость колебания грунта, поэтому далее мы будем рассматривать в качестве управляющего параметра сейсмического процесса скорость колебания грунта, достигающего критических значений при снижении меры устойчивости грунта до минимального уровня  $\Delta_i = 0,213$ . При  $\Delta_i = \Delta_i^{\min} = 0,213$  (обратная величина постоянной Фейгенбаума) пороговая скорость колебания грунта  $U^*$  отвечает условию перехода системы от адаптации к разрушению в данной локальной области. В зависимости от структуры реализуется спектр взаимосвязанных скоростей. Проанализируем в этой связи данные приведенные в [1] по измерению скорости колебания грунта в зависимости от радиусов изосейст на различных расстояниях от взрыва "Рулинсон".

В таблице 5 приведены необходимые данные для прогнозирования критических скоростей колебания грунта  $U_i^*$ , приводящих к переходу от адаптации системы к разрушению.

Дискретная зависимость мер устойчивости грунта  $\Delta_i = 0,465, 0,213$  от  $U_i^*$  (рис. 8), представлена лучевой диаграммой.

На ней правый зигзагообразный луч отвечает пределу адаптации сред к колебаниям грунта при данной, мере устойчивости  $\Delta_i = \text{const}$ . Связь между

**Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем**

$\Delta_i$  и  $U_i^*$  представлена в виде:

$$U_i^* = A - B\Delta_i \quad (16)$$

Таблица 5

Скорости  $U$  колебания грунта (в м/с) на различных расстояниях  $r$  (км) от взрыва «Рулинсон»,  $E_0 = 168 \cdot 10^{13}$  Дж,  $H = 2,75$  км

$r$	11,3	19,2	20,2	23,1	30,0	65,0
$U$	0,11	0,05	0,04	0,03	0,02	0,004
$r_{n+1} / r_n$	-	0,59	0,50	0,87	0,77	0,46
$\Delta_i$	-	0,324	0,255	0,324	0,324	0,465

где  $A$  - постоянная равная 0,16 и имеющая размерность скорости (м/сек), и  $B$  - постоянная равная 0,33, характеризующая увеличение критической скорости по мере снижения меры устойчивости среды.

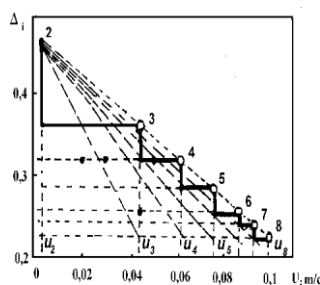


Рис. 8. Дискретно – лучевая диаграмма демпфирующих свойств грунтов с выделенными точками бифуркаций (o) на линии 2,3,...8, связывающей дискретные меры устойчивости с критической скоростью колебаний грунтов при переходе к хаосу, либо по дьявольской лестнице с достижением  $U_i^* = U_i^{max} = 0,1$ , либо по вертикали

Эта расчет  $\Delta_i$  по экспериментальным данным [1] подземного взрыва на стадии периодической самоорганизации структур.

Линия отвечает переходу от упорядоченной перестройки структуры к хаосу. В точке бифуркаций, отвечающей точке пересечения горизонтальной линии  $\Delta_i = const$  с лучом 2,..., 8, будущее поведение системы зависит от структурных состояний грунта (от его демпфирующих свойств). Грунты с высокой демпфирующей способностью после периодических перестроек структуры ( $m = 2, 4, 8, \dots$ ) при достижении предела адаптации  $A_m = A_m^*$  переходят на новый механизм адаптации путем увеличения  $A_m$  за счет снижения меры устойчивости (квазипериодическая самоорганизация). В этом случае предел адаптации достигает максимального уровня  $A_m^* = A_m^{max} = 0,99$ , определяя максимально реализуемый уровень колебания геофизической среды  $U_i^* = U_i^{max} = 0,1$  м/с.

Если же в силу структурного состояния грунта этот механизм не реализуется, то максимальный предел адаптации  $A_m^{max}$  не достигается, а предельная скорость колебаний грунта ограничивается пороговым  $U_i^*$  отвечающим координатам точки бифуркаций  $\Delta_i - U_i^*$ .

Ниже представлен спектр критических значений скорости колебания грунта для спектра мер устойчивостей при  $A_m^* = A_m^{\max}$ .

$U_i^*$ м/с	0,002	0,045	0,063	0,076	0,086	0,093	0,1
$\Delta_i$	0,465	0,380	0,324	0,285	0,255	0,232	0,213

Полученное значение  $U_i^* = U_i^{\max} = 0,1$  м/с близко к значению  $U_i^{\max}$ , рассчитанному по соотношению [1]:

$$U_i^{\max} = a / (r)^n = 0,097 \quad (17)$$

при  $a = 3 \cdot 10^{-6}$  и  $n = 1,6$

Здесь  $r$  - нормированные значения по  $E_c$  расстояния  $r \cdot 10^4$  км. Поскольку критическая скорость колебания грунта при  $\Delta_i = \text{const}$  является параметром, характеризующим способность грунта, то появляется возможность классификации грунтов по их способности гасить упругие колебания в условиях подобия критических скоростей колебаний, отвечающих линии 2,..., 8 (рис.8). Такая классификация дана в таблице 6 для грунтов, способных адаптироваться к колебаниям геофизической среды путем периодической перестройки структуры при  $\Delta_i = \text{const}$ .

Таблица 6

Классификация грунтов по демпфирующим свойствам геофизической среды в условиях сейсмических нагрузок

Класс грунта	Показатели демпфируемости			Демпфируемость
	$\Delta_i$	$U_i^*$ , м/с	$A_m^*$	
1	0,213	0,1	0,99	Высокая
	0,232	0,093	0,98	
	0,255	0,086	0,96	
11	0,285	0,076	0,92	Средняя
	0,324	0,063	0,87	
111	0,380	0,045	0,79	Низкая
	0,465	0,002	0,68	

Бифуркация и фазовые переходы 11 рода являются наиболее типичными проявлениями универсальности информационных свойств сложных систем. Это позволяет использовать различные критические показатели перехода системы к хаосу, отвечающие точкам бифуркаций для определенных критических условий. Приведем характерный пример (заимствованный из [2]) об изменении концентрации ионов хлора в источниках в зависимости от времени перед землетрясением в Кобе (Япония) 1995 г.

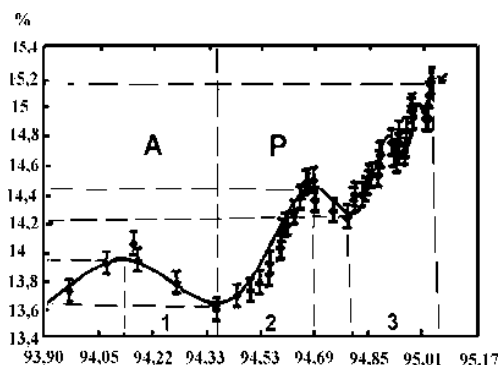


Рис. 9. Зависимость логарифма концентрации ионов хлора в источниках от времени перед землетрясением в Кобе в 1955 г. А – область адаптации с достижением  $A_m^{max} = 0,98$  (периоды времени 1 – 1). Р – область разрушения (периоды времени 11 – 111).

Из данных, приведенных на рис. 9 можно видеть, что концентрация хлора в источниках носила периодический характер содержания хлора при переходе от одного периода к другому. Это является отражением адаптационных процессов на стадии предземлетрясения. Анализ показателя адаптивности грунтов по величине отношения  $(\ln C)_{min} / (\ln C)_{max} = A_m$  показал, что предел адаптивности был достигнут в период 1994, 38, а затем процесс стал хаотическим, т.е. процесс адаптации сменился деградацией. На рис. 9 эти стадии разграничены на основе расчетных данных, представленных в таблице 7.

Таблица 7

*Переход от стадии адаптации грунта к разрушению, предшествовавший землетрясению в Кобе, рассчитанный по изменению критических показателей концентрации хлора в источниках*

Стадии		Адаптация		Разрушение	
		1	11	111	
Критические показатели	$(\ln C)_{min}$	13,62	13,62	14,25	
	$(\ln C)_{max}$	13,98	14,4	15,2	
	$(\ln C)_{min} / (\ln C)_{max} = A_m$	0,97	0,95	0,94	
	$(\ln C)_{min} / (\ln C)_{max}$	(Расчет 0,98)	-	-	

Приведенные в данной статье многочисленные примеры универсальности поведения динамических хаотических систем позволяют использовать эти разработки в сейсмологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов А.М., Ризниченко Ю.В. Развитие энергетической модели сейсмичности// Изв. АН СССР. Физика земли. 1975, № 12, С. 41-45.

2. Ахромеев Т.О., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992.
3. Баланкин А.С., Иванова В.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994.
4. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф. Методология мультифрактальной параметризации структуры материалов // Вестник ВГУ, серия материаловедение, 1999, вып. 16, С. 46-52
5. Гленсдорф П., Пригожин И. Теродинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1980.
6. Гиряев П.П., Леонова Ё.А. Пересмотр модели генетического кода // Сознание и физическая реальность, 1996, № 1-2, С. 73-84.
7. Голубев С.Н. Биоструктуры как фрактальное отображение квазикристаллической геометрии // Сознание и физическая реальность, Т. 1, № 1-2, 1996.
8. Григорян С.С. О механизме возникновения землетрясений и содержания эмпирических закономерностей сейсмологии // Докл. АН СССР, 1988, Т. 98, № 4, С. 1094-1101.
9. Иванова В.С. Универсальность свойств самоорганизации динамических структур живой и косной природы. Синергетика. Труды семинара. М.: МГУ, 1999, Т. 2, С. 85-97.
10. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов. М.: Наука, 1992. 157 с.
11. Иванова В.С. О связи структур со свойствами в критических точках. //Сб. "Институту металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН 60 лет". М.: Элиз, 1998.
12. Иванова В.С., Закирничная М.М., Кузеев И.Р. Синергетика и фракталы, универсальность механического поведения материалов. Уфа: УГНТУ, 1998.
13. Иванова В.С., Иванов О.П. Анализ устойчивости грунтов с использованием универсального алгоритма самоорганизации структур адаптации.
14. Иванов О.П., Иванова В.С. Тестирование влияния интенсивности землетрясений на переход от адаптивности системы к разрушению с использованием данных измерений радиусов изосейст. Тез. докладов междун. междисциплинар. симпозиума «Фракталы и прикладная синергетика». М.: Изд. МГОУ. 2001.С 134 – 136.
15. Иванов О.П. Особенности самоорганизации сложных сред в процессе эволюции. Синергетика. Труды семинара. М.: МГУ, 2000, Т. 3, С. 264-272.
16. Иванов О.П., Малинецкий Г.Г., Рагозин А.Л. Синергетика природных опасностей и рисков. Синергетика. Труды семинара. М.: МГУ, 2001, Т. 4, С. 57-74.
17. Леви Б.Г. Новый глобальный фрактальный формализм описывает различные сценарии перехода к хаосу // В сб. статей "Физика за рубежом". М.: Мир, 1987, С. 263-267.

***Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем***

18. Писаренко В.Ф., Примаков И.К., Шнирман М.Г. Поведение деформированного массива подвижных элементов // Дискретные свойства геофизической среды / Под ред. М.А. Садовского. М.: Наука, 1989, С. 76-84.
19. Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Штейнберг В.В. О зависимости энергии землетрясений от объема сейсмического очага // Докл. АН СССР, 1983, № 3, С. 598-602.
20. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991.
21. Садовский М.А., Кедров О.К., Пасечник И.П. О сейсмической энергии и объеме очагов при коровых землетрясениях и подземных взрывах // Докл. АН СССР, 1985, Т. 283, № 3, С. 1153-1156.
22. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов // Вести АН СССР, 1986, № 8, С. 3-11.
23. Садовский М.А. Сейсмика взрывов и сейсмология // Изв. АН СССР Физика Земли, 1987, № 11, С. 34-42.
24. Урицкий В.М., Музалевская Н.И. Информационная функция медленных вариаций стохастически организованной среды // В сб.: "Живые системы под внешним воздействием". Гидрометеиздат, 1992.
25. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
26. Цветков В.Д. Сердце, золотое сечение и симметрия. РАН, Пушинский научный центр, инст. теоретической и экспериментальной биофизики, М.: 1999.
27. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974.
28. Управление риском. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000, 431 с. Серия "Кибернетика": неограниченные возможности и возможные ограничения.
29. Feigenbaum L.J. Universal behavior in nonlinear systems. // Science, 1980, N I, P. 4-27.
30. Fuller R.B. Synergetics: explorations in the geometry of thinking. New York: Mcmillan Publishing, 1982, 876 p.
31. Ivanova V.S. Synergetics Strength and Fracture of metallic materials. Cambridge: Cambridge Intern. Science Publishing, 1998, 220 p.
32. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. San Francisco: Freeman, 1982. Vstovsky G.V. Transform Information: a symmetry breaking measure. // Found Phys, 1997, n 27, P. 1413-1444.
33. Vstovsky G.V., Kollnakov A.G., Terentjev V.F. Using Multi-fractal Information for Quantitative Evaluation of Broken Symmetries of Materials Structures. // MEDZIAGOTYRA (Materials

Science), 1999, №2(9), p. 62-65.

## **NONLINEAR DISCRETE SEISMOLOGY IN THE LIGHT OF UNIVERSAL CHAOTIC DYNAMICAL SYSTEMS**

**Ivanov O.P., Ivanova B.C.**

**Annotation.** On the basis of a discrete model of the geophysical environment developed earlier and a universal algorithm for self-organization of adaptation structures in relation to geophysical environments, the hierarchy of processes of adaptation of soil systems to seismic vibrations is shown and critical oscillation amplitudes are identified that determine the transition from periodic to quasi-periodic restructuring of structures during the development of an earthquake. Methods have been developed for determining the measures of stability and adaptability of the geophysical environment using the values of the radii of isoseists or data from multifractal analysis, which made it possible to classify soils according to their damping ability with a given measure of system stability. It is concluded that solving the key problems of seismology requires a transition from a continuous linear elastic model to a discrete nonlinear model of geophysics

**Keywords:** universality, seismology, non-linearity, discreteness chaotic systems

### **REFERENCES**

1. Artamonov A.M., Riznichenko Y.V. Development of an Energy Model of Seismicity // *Izv. AN USSR. Physics of the Earth*. 1975, No. 12, pp. 41-45.
2. Akhromeev T.O., Kurdyumov S.P., Malinetsky G.G., Samarsky A.A. *Nonstationary Structures and Diffusion Chaos*. Moscow: Nauka, 1992.
3. Balankin A.S., Ivanova V.S., Bunin I.Zh., Oksogoev A.A. *Synergetics and Fractals in Materials Science*. Moscow: Nauka, 1994.
4. Vstovsky G.V., Kolmakov A.G., Terentyev V.F. Methodology of Multifractal Parameterization of Material Structures // *Bulletin of VSU, Materials Science Series*, 1999, Iss. 16, pp. 46- 52.
5. Glensdorf P., Prigogine I. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability, and Fluctuations*. Moscow: Mir, 1980.
6. Giryaev P.P., Leonova E.A. Revision of the Genetic Code Model // *Consciousness and Physical Reality*, 1996, No. 1-2, pp. 73-84.
7. Golubev S.N. Biostructures as a Fractal Representation of Quasicrystalline Geometry // *Consciousness and Physical Reality*, Vol. 1, No. 1-2, 1996.
8. Grigoryan S.S. On the Mechanism of Earthquake Occurrence and the Content of Empir-

*Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем*

ical Patterns in Seismology // Dokl. AN USSR, 1988, Vol. 98, No. 4, pp. 1094-1101.

9. Ivanova V.S. Universality of Self-Organization Properties of Dynamic Structures in Living and Inanimate Nature. Synergetics. Proceedings of the Seminar. Moscow: MSU, 1999, Vol. 2, pp. 85-97.

10. Ivanova V.S. Synergetics. Strength and Destruction of Metallic Materials. Moscow: Nauka, 1992. 157 pp.

11. Ivanova V.S. On the Relationship Between Structures and Properties at Critical Points // Collection "60 Years to the Institute of Metallurgy and Materials Science named after A.A. Baikov RAS". Moscow: Eliz, 1998.

12. Ivanova V.S., Zakirnichnaya M.M., Kuzeev I.R. Synergetics and Fractals, Universality of Mechanical Behavior of Materials. Ufa: UGTU, 1998.

13. Ivanova V.S., Ivanov O.P. Analysis of Soil Stability Using a Universal Algorithm for Self-Organization of Adaptive Structures.

14. Ivanov O.P., Ivanova V.S. Testing the Influence of Earthquake Intensity on the Transition from System Adaptability to Destruction Using Data from Isoseist Radius Measurements. Abstracts of the International Interdisciplinary Symposium "Fractals and Applied Synergetics". Moscow: Publishing House of MGOU, 2001, pp. 134-136.

15. Ivanov O.P. Features of Self-Organization of Complex Media in the Process of Evolution. Synergetics. Proceedings of the Seminar. Moscow: MSU, 2000, Vol. 3, pp. 264-272.

16. Ivanov O.P., Malinetsky G.G., Ragozin A.L. Synergetics of Natural Hazards and Risks. Synergetics. Proceedings of the Seminar. Moscow: MSU, 2001, Vol. 4, pp. 57-74.

17. Levi B.G. A New Global Fractal Formalism Describes Various Scenarios for Transition to Chaos // In the Collection of Articles "Physics Abroad". Moscow: Mir, 1987, pp. 263-267.

18. Pisarenco V.F., Primakov I.K., Shnirman M.G. Behavior of Deformed Masses of Mobile Elements // Discrete Properties of Geophysical Media / Eds. M.A. Sadovsky. Moscow: Nauka, 1989, pp. 76-84.

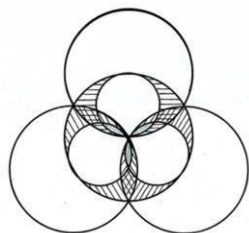
19. Sadovsky M.A., Pisarenco V.F., Shteinberg V.V. On the Dependence of Earthquake Energy on the Volume of the Seismic Focus // Dokl. AN USSR, 1983, No. 3, pp. 598-602. Sadovsky M.A., Pisarenco V.F. Seismic Process in a Block Medium. Moscow: Nauka, 1991.

20. Sadovsky M.A., Kedrov O.K., Pasechnik I.P. On Seismic Energy and the Volume of Foci in Crustal Earthquakes and Underground Explosions // Dokl. AN USSR, 1985, Vol. 283, No. 3, pp. 1153-1156.

21. Sadovsky M.A. Self-Modeling of Geodynamic Processes // Vestnik AN USSR, 1986, No. 8, pp. 3-11.

22. Sadovsky M.A. Seismics of Explosions and Seismology // *Izv. AN USSR Physics of the Earth*, 1987, No. 11, pp. 34-42.
23. Uritsky V.M., Muzalevskaya N.I. Informational Function of Slow Variations in Stochastically Organized Media // In the collection: "Living Systems under External Influence". Hydrometeoizdat, 1992.
24. Haken H. Synergetics: Hierarchy of Instabilities in Self-Organizing Systems and Devices. Moscow: Mir, 1985.
25. Tsvetkov V.D. The Heart, Golden Ratio, and Symmetry. Russian Academy of Sciences, Pushchino Scientific Center, Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Moscow: 1999.
26. Shebalin N.V. Foci of Strong Earthquakes on the Territory of the USSR. Moscow: Nauka, 1974.
27. Risk Management. Sustainable Development. Synergetics. Moscow: Nauka, 2000, 431 pp. Series "Cybernetics": Unlimited Possibilities and Possible Limitations.
28. Feigenbaum L.J. Universal behavior in nonlinear systems. // *Science*, 1980, H I, P. 4-27.
29. Fuller R.B. Synergetics: explorations in the geometry of thinking. New York: Mcmillan Publishing, 1982, 876 p.
30. Ivanova V.S. Synergetics Strength and Fracture of metallic materials. Cambridge: Cambridge Intern. Science Publishing, 1998, 220 p.
31. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. San Francisco: Freeman, 1982.
32. Vstovsky G.V. Transform Information: a symmetry breaking measure. // *Found Phys*, 1997, n 27, P. 1413-1444.
33. Vstovsky G.V., Kollnakov A.G., Terentjev V.F. Using Multi-fractal Information for Quantitative Evaluation of Broken Symmetries of Materials Structures. // *MEDZIAGOTYRA (Materials Science)*, 1999, №2(9), p. 62-65.

УДК 004.416.6



## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТИ

**Иванов О.П.** к.г.-м.н., в.н.с. сектора Геодинамика МЗ МГУ

**Аннотация.** Дан краткий анализ современных междисциплинарных направлений, как основы дальнейшего развития науки. Отмечено наибольшее развитие теории самоорганизации, синергетики, теории фракталов, теории сложных систем. Особо отмечено становление и развитие нанонауки и нанотехнологий. Показана общность и различие этих направлений и их перспективы.

**Ключевые слова:** фракталы, устойчивость, нанонаука, синергетика, сложные системы, синтез.

**Введение.** До середины XX века наука шла по пути углубленного дифференциального исследования законов устройства и становления мира. За этот длительный период накоплено множество данных порою противоречивых. Мир оказался настолько сложен, что ни одна отрасль науки не смогла предложить приемлемый общий сценарий миропонимания. *Выход из этого кризиса наметился за счет идеи междисциплинарного синтеза научных достижений.* Идея оказалась плодотворной и была подхвачена всем международным научным сообществом. В сравнительно короткие по историческим меркам сроки возникли и стали успешно развиваться различные научные центры междисциплинарных исследований. В основе большинства научных направлений таких центров лежали идеи эволюции природы за счет процессов самоорганизации.

Это промежуточный период перехода от классического механистического мышления, от ученых энциклопедистов и узкодисциплинарного мышления к нелинейным представлениям мира и нелинейному мышлению, к глобальным проблемам и попыткам осознать суть искусственного интеллекта. Такой переход необходим для правильной формулировки задач будущего, поэтому он включает создание универсального научного языка, обобщенный синтез знаний и формулировку ряда новых научных проблем с широки междисциплинарных позиций. Именно поэтому весь 20-й век был посвящен разработке ряда междисциплинарных направлений как способа перехода на новое мышление. В итоге возникла нелинейная динамика. Но было бы не правильно свести все к нелинейной динамике. Важную переходную роль в этом сыграли все междисциплинарные направления, возникшие к концу 20 века. Они помогли осознать, что такое порядок и хаос, в чем суть сложного мира и глобальной эволюции Вселенной, особенности механизмов эволюции для всех подсистем.

Основные междисциплинарные направления этой эпохи:

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

**2. Теория Синергетики.** Автор - Генри Хакен -1963 г. Суть в разработке теории когерентной самоорганизации на базе параметров порядка.

**3. Теория катастроф** – Её начало идет от теории бифуркаций динамических систем Пуанкаре и Андронова.

**4. Теория самоорганизации гиперциклов.** Авторы - М. Эйген и П.Шустер (1982 г.) – концепция образования упорядоченных макромолекул из неупорядоченного 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 НК 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.

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

**7. Анализ бифуркационных переходов через корни обобщенного уравнения золотых сечений** В.С. Иванова – 1992 г.

**8. Теория фракталов** Понятие фрактала было введено в обращение замечательным французским математиком польского происхождения Бенуа Мандельбротом в 1975 году. Оно позволило аппроксимировать описание любых нелинейных объектов и стало геометрией бесформенного. Оно было предложено Бенуа Мандельбротом для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, которыми он занимался. Сейчас широко применяется.

**9. Теория мезомеханики** - разработана академиком РАН РФ Паниным В.Е. Идея многомасштабности явлений в твердых телах при их пластической деформации и разрушении была сформулирована в томской школе физики твердого тела как концепция структурных уровней деформации твердых тел. Для понимания механизмов пластической деформации и

разрушения необходимы были физические подходы на микромасштабном уровне. Такой прорыв физиков в микромир деформируемого твердого тела произошел в пятидесятые годы XX столетия, когда для исследования тонкой структуры кристаллов была использована электронная микроскопия. Последующие полвека физика пластичности и прочности переживала бум, связанный с интенсивным изучением закономерностей возникновения, движения и самоорганизации основного типа деформационных дефектов — дислокаций. Рассмотрение в физической мезомеханике любой среды во внешнем поле как многоуровневой системы принципиально изменяет круг приложений данной науки и делает ее концептуально мультидисциплинарной.

## 10. Теория Синергетики

### 11. Фрактальный анализ реакции природных сред на сейсмические воздействия.

Иванов О.П. Иванова В.С. - 2003 г.

**12. Кумулятивно-диссипативный подход. 2003 г. Авторы Высикайло Ф.И., Иванов О.П.** Суть в разделении всех процессов природы на два основных типа со своими процессами самоорганизации и выделение одного подтипа кумулятивно-диссипативных процессов со смешанными типами самоорганизации. Данный подход применен для описания структур в плазменных средах и при анализе опасных природных процессов и описан в опубликованных монографиях.

**13. Далее - это Нанонаука и Нанотехнологии.** Особенностью нанотехнологий является широкое использование процессов самоорганизации, самосборки и темплатного синтеза, которые могут в сложно организованной системе привести к формированию необходимых упорядоченных структур (наноструктур), проявляющих требуемые практически важные (функциональные) свойства. Решение проблемы потребовало объединения на базе термодинамики наносистем (супрамолекулярной термодинамики) новых междисциплинарных направлений: синергетики, являющейся теорией самоорганизующихся систем, теории фракталов, контролирующей нарушение инвариантности трансляционной симметрии, физической мезомеханики, определяющей масштабно - инвариантные преобразования фрактальных структур в процессе эволюции системы. Синтез знаний может осуществляться только вокруг междисциплинарной идеи или парадигмы.

Мы видим общность описания ряда междисциплинарных направлений. Она состоит в том, что в теории фракталов, нанонауке и мезомеханике ярко выражены три основных аспекта синергетики и кумулятивно-диссипативной парадигмы:

1) реальность кумулятивных и диссипативных структур и систем (самоорганизация в пространственно-временном масштабе),

2) наличие фрактальных структур как результат процессов взаимодействий систем или иерархической эволюции, свойственных динамическому хаосу и проявляемых даже в суперупаковках наномасштаба (самоорганизация в фазовых пространствах или пространствах состояний систем) и 3) степенное многообразие сценариев эволюции, свидетельствующее о сложности структур всех масштабов (самоорганизация в пространстве стратегий, предпочтений, решающих правил).

Целое, включает все перечисленные научные направления.

#### **14. Теория сложных систем**

**15. Иванов О.П. 2003 г. Теория эволюции сложных систем (ТЭСС)** дает новое миропонимание. Она базируется на кумулятивно-диссипативной парадигме, органически включающей в себе формы и устойчивые состояния в экстремальных ситуациях, т.е. кумулятивные потоки энергии, вещества и информации, фрактально самоорганизованные в целях наилучшей адаптации во времени и пространстве.

Такая парадигма возвращает диалектическое единство двух основных противоположностей накопления и диссипации, обладающими симметричными процессами эволюции. Объединение подходов позволяет определять адаптивность систем к внешним воздействиям экспериментальным путем и устанавливать критические параметры адаптивности систем к внешним воздействиям.

Главным достижением науки наступившего века можно считать осознание сложности мира и стремление его понять. Так уже в 80-е годы сложилась специальная научная дисциплина, названная *теорией сложности*. Наука о сложных нелинейных процессах (Nonlinear Science, Science of complexity, Science of Chaos) находится сейчас лишь в начальной стадии стремительного роста, о чем свидетельствует бурное развитие этой отрасли в США. Проблемы сложных нелинейных систем, в том числе биологических, изучаются во всех крупных университетах Европы и Америки.

В 1984 году был основан Институт Санта Фе в Нью-Мексико, а двумя годами позже – Центр изучения сложных систем в университете штата Иллинойс. Последний возглавил Стивен Вольфрам, автор бестселлера «A new kind of science» («Наука нового типа»). Это два крупнейших центра, где профессионально занимаются междисциплинарными исследованиями сложных систем с участием специалистов разных специальностей – экономистов, биологов, физиков и математиков. Центр в Лос-Аламосе насчитывает около 2000 исследователей.

Российские исследователи также получили базовые результаты в этой области. Достаточно вспомнить открытие химической реакции Белоусова-Жаботинского (МГУ и Пущино), которой в мировой литературе посвящены тысячи статей, исследования Арнольда (МГУ) по

математической теории катастроф и сценариев перехода к хаосу, Кринского и Иваницкого (Ин-т Биофизики РАН в Пущино) по исследованию автоволновых режимов в нервном волокне сердечной мышцы, модели процессов морфогенеза и внутриклеточного движения профессоров МГУ Чернавского и Романовского, исследования по контролируемой термоядерной реакции в Институте прикладной математики (акад. А.А. Самарский, чл.-корр. С.П. Курдюмов) и др.

В 1995 г. в МГУ им. М.В. Ломоносова создан Институт математических исследований сложных систем МГУ (почетный президент - лауреат Нобелевской премии проф. И.Р.Пригожин, директор (президент) - академик РАН, Ректор МГУ проф. В.А.Садовничий).

Основной областью исследований, проводимых в ИМИСС МГУ в сотрудничестве с Институтом им. Сольвея (Брюссель) и рядом других европейских научных центров, является развитие идей профессора И.Р. Пригожина по созданию теории неравновесных систем. Ведется разработка математического аппарата (спектральная теория операторов) для описания динамики сложных систем. Кроме того, ведутся работы по проекту создания эффективных методов распознавания образов и процессов управления нелинейными динамическими системами. Проводятся исследования по применению математических методов управления и контроля сложных систем в биологии (совместно с CIAMM - Мексика).

В институте действует лекторий "Время, хаос и математические проблемы" и семинар по моделированию динамики и информационных процессов в живых системах, главная задача которых состоит в разработке современных методов описания сложных систем в природе и обществе. В лектории и семинаре участвуют ведущие российские и зарубежные ученые.

В 1999 г. В Москве состоялся II-й съезд биофизиков России. Он состоял из семи заседаний по темам: "Молекулярно-кинетические системы", "Самоорганизация в биосистемах", "Свойства нелинейных динамических систем", "Физико-математические подходы к анализу сложных систем", "Клеточно-тканевые системы", "Сенсомоторные системы", "Экспериментальные исследования сложных систем".

В 2003 г. В Москве состоялась IX научная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Было показано, что в пространстве возможных состояний исследуемой сложной системы (прогноз поведения которой нас интересует) интуитивно или сознательно выделяются области, в которых состояние объекта характеризуется несколькими ведущими переменными, связь между которыми описывается некоторой детерминированной системой (системой дифференциальных уравнений, отображением, конечным автоматом, логической схемой), и в которых горизонт прогноза не слишком мал. Такие области были названы руслами. В пределах русел ситуация может быть "просчитана", может быть дан

достоверный прогноз. Наряду с руслами в пространстве состояний существуют "области джокера", где ситуация меняется очень быстро, принимаются ключевые решения и на первый план выходят игровые, вероятностные, субъективные факторы (Г.Г. Малинецкий). Здесь ожидания, опыт экспертов, культурный климат, смыслы и ценности лиц, принимающих решения, могут оказаться решающими.

В настоящее время проектирование сложных систем – не только информационных, но имеющих совершенно разную природу – выделяется в отдельную инженерную дисциплину. В США главным центром, где изучаются проблемы проектирования сложных систем, является Отделение технических систем Массачусетского технологического института.

Путь к пониманию сложности складывался и продолжает развиваться на базе междисциплинарности. Уже в начале 80-х годов реальным стало осознание общности ряда исследовательских программ. Начиная с 1975 года, обнаружено концептуальное сходство и подобие используемых уравнений, что дало основание предположить общее эпистемологическое содержание проводимых исследований. На этой основе стало формироваться теоретическое ядро концепции самоорганизации или, если пользоваться терминологией И. Лакатоса, новая исследовательская программа. Начался переход от различных динамических теорий и идей самоорганизации к началу формирования концепции самоорганизации в рамках комплексных научных направлений. Фактически это **период кластеризации идей самоорганизации**. Возникло несколько достаточно близких друг к другу, но ориентированных на различные сферы приложения, комплексных направлений. Например, подходы по изучению сложности жизни, ориентированные на компьютерное и физическое моделирование (теории клеточных автоматов и нейросетей, теория самоорганизованной критичности, теория жизни на кромке хаоса, и др.); теория аутопоэзиса (понимании взаимодействия социальных систем со средой и внутри себя), и наиболее общее направление – синергетика. Почти одновременно возникают такие направления как теория фракталов, неожиданно нашедшая широчайшее применение в различных областях знаний, теория мезомеханики, позволившая создать переходный теоретический мост в области самоорганизации сплошных сред различного масштаба, и, наконец, теория наномира и нанотехнологий. Все эти направления роднит общее стремление понять суть самоорганизации природы. И даже понимание того, что класс диссипативных процессов обязательно должен быть дополнен подклассом кумулятивно-диссипативных процессов, являющий собой системы с высокими плотностями энергии, опять же возвращает нас к стремлению понимания сути самоорганизации в природе на всех пространственно-временных и энергоинформационных уровнях. Фактически мы стоим перед проблемой еще более крупного междисциплинарного синтеза в науке и технике.

Попробуем пояснить это, начиная с наиболее модного сейчас научно-технологического направления в области нанотехнологий. Конец XX и начало XXI века ознаменовались переходом к нанотехнологиям. Днем рождения нанотехнологий считается 29 декабря 1959 г. Профессор Калифорнийского технологического института Ричард [Фейнман](#) (Нобелевский лауреат 1965 г.) в своей лекции "Как много места там, внизу" ("There's plenty of room at the bottom"), прочитанной перед Американским физическим обществом, отметил возможность использования атомов в качестве строительных частиц. В 1974 г. Японский физик Норио Танигучи, работавший в Токийском университете, предложил термин "нанотехнологии" (процесс разделения, сборки и изменения материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой), быстро завоевавший популярность в научных кругах. В 1991 г. В США заработала первая нанотехнологическая программа Национального научного фонда. Аналогичной деятельностью озаботилось и правительство Японии. А вот в Европе серьезная поддержка таких исследований на государственном уровне началась только с 1997 г.

Предполагается, что использование нанотехнологий позволит развить физические, химические, технические, медицинские и материаловедческие науки, что будет способствовать междисциплинарной кооперации в науке и производстве. Была дана следующая трактовка предмета, определяющего развитие нанотехнологий: *«...возникновение областей нанонауки и наноинженерии, т.е. возможности работать на молекулярном уровне, атом к атому, для создания больших структур с принципиально новой молекулярной организацией, ведущей к беспрецедентному пониманию и контролю над фундаментальными строительными блоками для всех физических объектов»* [8]).

Из этого определения следует, что переход к нанотехнологиям требует от ученых перестройки мышления для осмысления концепции нанонауки, базирующейся на квантово - механических свойствах наномира, не свойственных макромиру. В доктрине развития работ в Российской Федерации в области нанотехнологий, предложенной В. Я. Шевченко и В.Е. Шудеговым [8] сформулированы задачи фундаментальных исследований в области нанотехнологий, учитывающие особые свойства наномира. Существование наномира означает, что наноразмерные объекты обладают специфической структурой и свойствами, присущими только объектам наномира. Особенностью нанотехнологий является широкое использование процессов самоорганизации, самосборки и темплатного синтеза, которые могут в сложно организованной системе привести к формированию необходимых упорядоченных структур (наноструктур), проявляющих требуемые практически важные (функциональные) свойства. Естественным способом получения наноматериалов могут являться самосборка и самоорганизация.

Интенсивность процессов самоорганизации в определенном участке среды существенно зависит от многовариантности поведения составляющих компонентов.

Решение проблемы требует междисциплинарного подхода. В связи с этим акцентируется внимание на необходимости введения обобщенной симметрии, т.к. в наном мире не всегда реализуются законы классической кристаллографии, базирующейся на трансляционной инвариантности. Квантовое состояние наносистемы определяет большое разнообразие структур в виде одномерных, двумерных, трехмерных фрактальных и их комбинаций. Это связано с тем, что в наносистемах сетки, образованные координационными полиэдрами, могут деформироваться и образовывать цилиндрические, конусные и сферические поверхности. При этом самостабилизированные атомные кластеры неорганических веществ в своей структуре могут содержать отличные от макромира структуры. Также, необходимо при этом учитывать, что разделение наноструктуры на фрагменты характеризуется нерегулярностью, т. е. фрактальностью [8].

Наиболее ярко явления самоорганизации проявлены при образовании таких образований как нанокластер, наноструктура. Выделение таких понятий и связанных с ними явлений привело к появлению новой дисциплины – физикохимии и соответствующего исследовательского инструментария.

Изучение особенностей самоорганизации фрактальных структур в наносистемах является ключевой в объединении подходов синергетики и теории фракталов для анализа нелинейной динамики наносистем. Развитие нанонауки предполагает использование универсальных закономерностей самоорганизации атомных кластеров в наносистемах. Фактически данная идея не только перекликается, но и развивает идею А.П. Руденко, писавшего, что в основе макросамоорганизации каталитических систем лежит континуальная самоорганизация на микроуровне и именно она является ведущей.

Решение проблемы требует объединения на базе термодинамики наносистем (супрамолекулярной термодинамики [1]) новых междисциплинарных направлений: синергетики являющейся теорией самоорганизующихся систем [6], теории фракталов [9], увязанной с фрактальной симметрией [2] (контролирующей нарушение инвариантности трансляционной симметрии) и свойствами среды самоорганизации фракталов, адаптирующих систему к внешним возмущениям [7], физической мезомеханики [5], определяющей масштабно-инвариантные преобразования фрактальных структур в процессе эволюции системы.

Представляемая читателю статья ставит своей целью найти пути, которые в будущем могут составить основу объединенного междисциплинарного направления, учитывающего особенности структурообразования в микро, мезо, и макросистемах, контролируемое

наноуровнем.

Значимость дальнейшего развития междисциплинарного подхода в научных исследованиях связана со следующими аспектами.

Синергетика успешно овладела основами самоорганизации диссипативных структур. Особенно хорошо освещены достижения школы российских синергетиков в области математического моделирования процессов теплопроводности и процессов по типу реакция-диффузия. Уже реализуются перспективы расширения подходов синергетики за счет учета кумулятивно-диссипативных процессов. Данный подкласс процессов имеет широкое распространение в природе, связан с опасными природными процессами и широко исследуется в лабораторных условиях с целью получения экстремальных плотностей энергии и вещества. Это означает более полный переход к освоению процессами моделирования на основе теорий конвекции, дрейф-диффузии, амбиполярного дрейфа, теории турбулентности и вихревых движений, включая концентрированные вихри.

Междисциплинарность исследований в различных научных направлениях вытекает из современной ренормгрупповой теории фазовых переходов, в основе которой лежит подход, базирующийся на гипотезе скейлинга, или масштабной инвариантности. Речь идет о новом применении теории фракталов, теории детерминированного хаоса, теории дифференциальных уравнений с дробной мерой и скейлинговых инвариантов в задачах повышения информативности устройств различного назначения.

Выявлены широчайшие возможности мезомеханики в области исследований упругих сред различного масштаба: от микро до мегапроцессов, связанных с упругопластическими и хрупкими деформациями в литосфере Земли, включая процессы сейсмичности.

И, наконец, впервые выявлена общность описываемых междисциплинарных направлений. Она состоит в том, что в теории фракталов, нанонауке и мезомеханике ярко выражены три основных аспекта синергетики: реальность диссипативных структур (самоорганизация в пространственно-временном масштабе), наличие фрактальных структур, свойственных динамическому хаосу и проявляемых в суперупаковках наномасштаба (самоорганизация в фазовых пространствах или пространствах состояний систем) и многообразие сценариев эволюции, свидетельствующее о сложности структур всех масштабов (самоорганизация в пространстве стратегий, предпочтений, решающих правил).

По нашему мнению, общество вступило в эру создания еще более комплексного и универсального междисциплинарного направления, которое явится основой для анализа аккумулятивно-диссипативных процессов взаимодействующих сложных открытых систем в процессе эволюции со всеми масштабными уровнями устойчивой фрактальной адаптации (от

нано до макроуровня), и позволяющее адекватно теоретически моделировать и инструментально контролировать и управлять всеми стадиями эволюции взаимодействующих систем. Такое направление будет обладать самой главной чертой – прогнозируемостью, что крайне важно для стратегии будущего и нанонауки. Скорее всего, это будущее за аккумулятивно-диссипативной парадигмой, органически включающей в себе формы экстремальных, т.е. кумулятивных потоков энергии, вещества и информации, фрактально организованные в целях наилучшей адаптации во времени и пространстве. Такая парадигма возвращает питательные корни диссипации в синергетике (вместо бесплотной негэнтропии или отрицательной энтропии), ибо нельзя диссипировать энергию, не накопив ее. Более того, мы должны понимать, что это диалектическое единство двух противоположностей накопления и диссипации, обладающими симметричными процессами кумуляции [4].

Для материаловедения важным направлением будущего является получение массивных материалов, свойства которых управляются нанофазами, введенными в материал путем легирования или в результате внешнего воздействия различных видов, в том числе путем композиционного конструирования. Такие материалы частично уже были созданы в XX веке. Имеются в виду сплавы с памятью формы, сверхпластичные сплавы, объемные аморфные сплавы и интеллектуальные материалы. Их разработке способствовал междисциплинарный подход [3]. Несомненно, выход этой монографии явится заявкой на развитие нанонауки и нанотехнологий получения нановеществ и массивных материалов с функциональными свойствами подобными биосистемам на базе обобщенного междисциплинарного подхода.

Именно объединение подходов позволяет определять адаптивность систем к внешним воздействиям экспериментальным путем и устанавливать критические параметры адаптивности систем к внешним воздействиям.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гладышев Г. П. Супрамолекулярная термодинамика - ключ к осознанию явления жизни. Москва- Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2002. 135с.
2. Встовский Г. В. Элементы информационной физики. МГИУ. 2002, 237 с.
3. Иванова В. С. Введение в междисциплинарное наноматериаловедение. М.: «САЙНС – ЭКСПРЕСС». 2005, 205с.
4. Иванов О.П., Высикайло Ф.И. Кумулятивно-диссипативные процессы и структуры (новое в синергетике). М.: Сб. «Синергетика геосистем». 2007. с.36-42.
5. Панин В.Е., Панин Л. Е. // Масштабные уровни гомеостаза в деформируемом твердом теле. Физич. Мезомеханика. 2004, т. 67, № 4.

6. Пригожин И.Р. Конец определенности. Время. Хаос и Новые Законы Природы. Ижевск. Редакция журнала «Регулярная и хаотическая динамика» 1999. 215с.
7. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. М. ЛОГОС 2002, 664с.
8. Шевченко В. Я., Шудегов В.Е. Доктрина развития работ в Российской Федерации в области нанотехнологий. // Наноиндустрия. 2007. №3, с. 4-11.
9. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. Freeman: San-Francisco, 1982.

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INTERDISCIPLINARITY**

**Ivanov O. P.** (Ph. D.-M. N., V. N. S. of the Geodynamics sector  
of the Moscow State University

**Annotation.** A brief analysis of modern interdisciplinary directions as the basis for the further development of science is given. The greatest development of the theory of self-organization, synergetics, fractal theory, and the theory of complex systems is noted. The formation and development of nanoscience and nanotechnologies are particularly noted. The commonality and difference of these directions and their prospects are noted.

**Keywords:** fractals, stability, nanoscience, synergetics, complex systems, synthesis.

## **REFERENCES**

1. Gladyshev G. P. Supramolecular Thermodynamics - The Key to Understanding the Phenomenon of Life. Moscow-Izhevsk: Institute of Computer Research, 2002. 135 pp.
2. Vstovsky G. V. Elements of Information Physics. MGIGU, 2002. 237 pp.
3. Ivanova V. S. Introduction to Interdisciplinary Nanomaterials Science. Moscow: "SCIENCE - EXPRESS", 2005. 205 pp.
4. Ivanov O. P., Vysikailo F. I. Cumulative-Dissipative Processes and Structures (New in Synergetics). Moscow: Collection "Synergetics of Geosystems", 2007. pp. 36-42.
5. Panin V. E., Panin L. E. // Scales of Homeostasis in Deformable Solid Bodies. Physical Meso-mechanics, 2004, Vol. 67, No. 4.
6. Prigogine I. R. The End of Certainty. Time, Chaos, and the New Laws of Nature. Izhevsk: Editorial Board of the Journal "Regular and Chaotic Dynamics", 1999. 215 pp.
7. Potapov A. A. Fractals in Radiophysics and Radar Technology. Moscow: LOGOS, 2002. 664 pp.
8. Shevchenko V. Ya., Shudegov V. E. Doctrine of Development of Work in the Russian

*Перспективы развития междисциплинарности*

Federation in the Field of Nanotechnology. // Nanoindustry, 2007, No. 3, pp. 4-11.

9. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. Freeman: San Francisco, 1982.