

## ПРОЯВЛЕНИЕ МАСШТАБНОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ И САМОРЕГУЛЯЦИИ В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

Г.М. Дегтярёв, В.Н. Носов, П.Д. Шпаков

Приведены различные аспекты вскрытой неизвестной ранее закономерности функционирования открытых динамических систем (ОДС) различной природы, как теоретического, так и прикладного характера. Представлены феноменологическая и теоретическая модели функционирования ОДС. На примерах среды обитания на Земле (литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы и социосферы), продемонстрированы возможности диагноза состояния и прогноза будущих событий в ней.

Ключевые слова: масштабная инвариантность, самоорганизация, саморегуляция, масштабный коэффициент открытых динамических систем, масштабный коэффициент отдельностей твёрдых тел, информационный инвариант открытых динамических систем.

### НАБЛЮДАЕМАЯ МАСШТАБНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ ПРОЦЕССОВ В ПРИРОДЕ

В качестве регулярно наблюдаемых примеров рассмотрим процессы обтекания препятствий в вязких средах. На рис. 1-6 приведены фотографии обтекания таких препятствий воздушными и водными потоками. Не трудно видеть, что характер обтекания предметов, независимо от масштаба движения, имеет сходные черты. Так в следе обтекания воздушными потоками островов Ян Майен, Гуаделупа, отражившемся в поле облачности и цилиндра водным потоком в гидродинамическом лотке, подкрашенном алюминиевой стружкой, мы наблюдаем похожие периодические автоструктуры, хотя масштабы явлений отличаются в десятки тысяч раз. Даже в космических масштабах наблюдаются, внешне схожие с земными образованиями, вихревые структуры (рис. 4).

Однако в следе за обтекающими потоками тел этот вид структур оказался не единственным, что и иллюстрируют приведённые ниже фотографии.

На рис. 5 приведена фотография следа о. Буве (Южная Атлантика) в поле облачности, отличающиеся от вида следа от о. Ян Майен в Северной. На фотографии следа о-ва Буве, высотой несколько более 1000 м мы видим нарушение структуры волновой картины в поле облачности вниз по течению. Удивительно, но это нарушение вызвано одинокой скалой, высотой

~15 м, возвышающейся над поверхностью воды!

Такой вид возмущений, в следах за движущимися по поверхности воды птицами, кораблями, или при обтекании воздушными и водными потоками островов, известен под названием «корабельные» волны. И действительно, сравнивая след катера со следами от островов, в следах от этих объектов мы чётко различаем две системы волн – поперечные волны, которые ориентированы поперёк курса объекта и под углом к его курсу. При этом поперечные волны и под углом в следе к курсу занимают практически равную угловую область (~200). Общая же угловая область, занятая корабельными волнами, составляет около 400. И здесь мы видим качественно аналогичную картину независимо от масштаба явления.

Эксперименты в гидродинамических лотках и бассейнах демонстрируют тот факт, что в стратифицированной жидкости эти вихри ведут себя как твёрдые тела, отражаясь от поверхности жидкости, либо преобразуются в пару вихрей, похожий на фрагмент дорожки Кармана (см. рис. 8), или следы, приведенные на рис. 1-4.

Наблюдения за деформационными процессами в оболочках Земли также дают примеры структурных преобразований в них в виде периодических структур и сигналов. С появлением искусственных спутников Земли появилась возможность наблюдать эти процессы в атмосфере и океане в глобальном масштабе. В атмосфере наблюдать за формированием серий циклонов и антициклонов, торнадо, и смерчей, а в

зонах планетарных океанических течений – за периодическими структурами в виде меандров и рингов.

Приведённые фотографии наблюдаемых структур, формирующихся при деформации потоков жидкостей и газов, демонстрируют процессы самоорганизации (формирования автоструктур) и саморегуляции в этих средах, при их деформации, а также наличие масштабной инвариантности в них от лабораторных опытов, до планетарных и космических масштабов. Известное сообщение космонавта

В. Севастьянова о том, что он наблюдал срединные океанические хребты с высоты полёта космического корабля, объясняется достаточно просто. Хорошо известно, что водные массы океанов, стратифицированы по оптическим характеристикам, из-за неравномерного оседания в толще вод взвесей различной природы [35]. Движущиеся водные массы, встречаясь с хребтом и обтекая его, начинают контрастировать с водными массами, располагавшимися над хребтом. Это и создавало иллюзию прямой видимости хребтов.

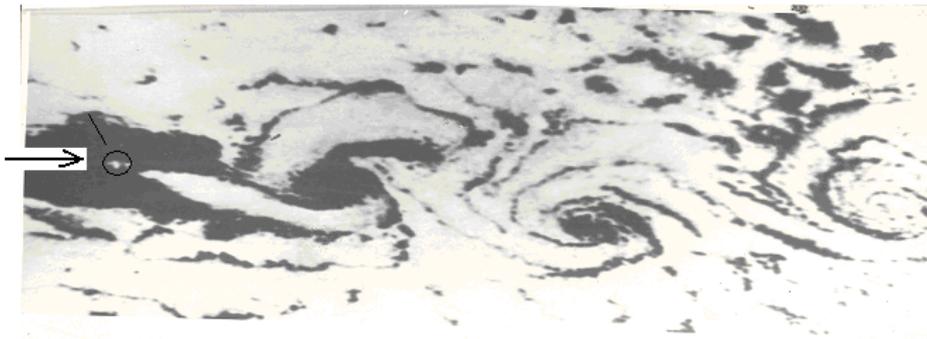


Рис 1. След острова Гуадалупе в воздушном потоке, зафиксированный в облачности [«Скайлэб»].

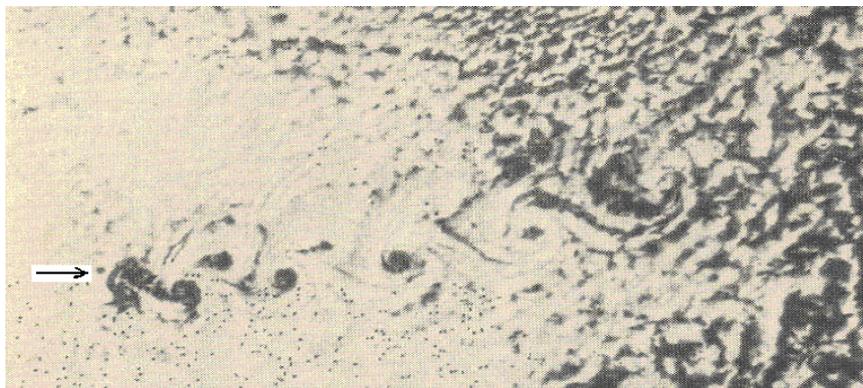


Рис 2. След острова Ян Майен в воздушном потоке, зафиксированный в облачности [29].



Рис 3. След цилиндра в потоке жидкости в гидродинамическом лотке, подкрашенный алюминиевой пудрой.  $Re \sim 100$  [29].



Рис 4. Вихревая структура в дальнем космосе. Фотография галактик NG 5194 и NG 5195 [34].

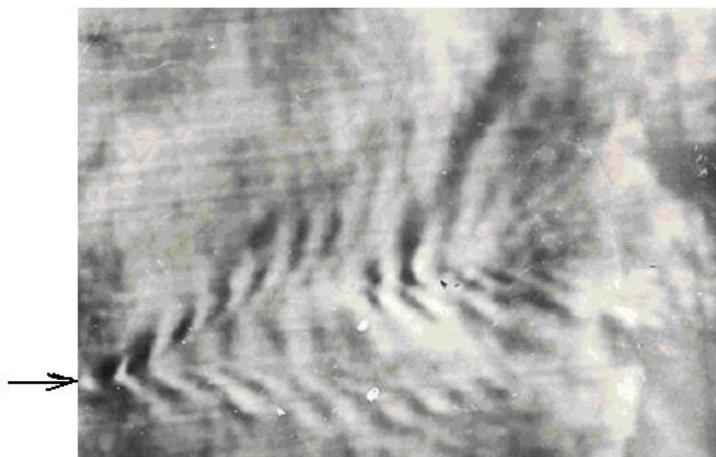


Рис 5. След острова Буве в воздушном потоке, зафиксированный в облачном покрове [ИСЗ «Метеор»].

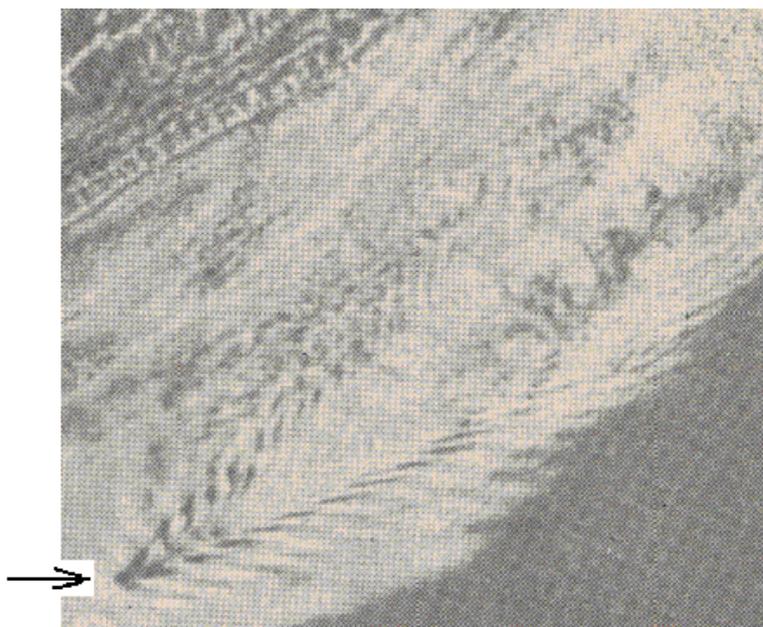


Рис 6. След острова Ян Майен в потоке северо-западного ветра, зафиксированный в облачном покрове [29].

Выше приведены примеры масштабной инвариантности процессов самоорганизации и саморегуляции в атмосфере, гидросфере и литосфере в условиях варьирующих потоков энергии, веществ и информации. Эти вариации приводят к периодической смене режимов функционирования ОДС, из-за деформации сложившихся структур потоками этих субстанций. Но в оболочке Земли вписана и биосфера, которая не может в ней существовать, игнорируя условия среды своего существования. Ниже приведены доступные нам примеры адаптации живых организмов к среде обитания, подтверждающие этот факт.

Исследования [1, 21, 35] показали, что живые организмы, обитающие в гидросфере Земли, движутся всем телом [35] и выработали для своего движения в вязкой жидкости три типа движителей:

- качающееся весло (плавники, ласты). Этим движителем пользуются морские черепахи, панцирные рыбы и другие, оседлые и другие обитатели водной стихии;

- волновой движитель, в котором по телу животного бежит волна постоянной амплитуды. Этот движитель используют черви, угри, змеи, жгутиковые и др. обитатели вод;

- скумброидный [28] движитель (волновой), в котором по телу животного бежит волна с возрастающей амплитудой от носа к хвосту. Этот тип движителя используют киты, ластоногие, кальмары, быстроходные и дальнеходные хищники.

На рис. 10 приведена последовательность кадров, зафиксировавших характерные особенности следа ставриды при движении в гидродинамическом лотке. Нетрудно увидеть сходство со следами в деформированном воздушном потоке островами Гуаделупа, Ян Майен и следе цилиндра (рис. 1-3). Как в первом, так и во втором случае, среда, при деформации установившегося в ней потока, откликается формированием аналогичных автоструктур, независимо от размеров препятствия и природы деформирующих среду сил.

Приведя все фазы движения осетра, снятые с киноплёнки, к одному моменту (или точке), убеждаемся в том, что все фазы движения гидробионта укладываются в телесный угол, не превышающий 150. Ластоногие и китообразные практически точно укладываются в телесный угол  $< 200$ . Даже кальмары, засасывая внутрь воду и изменяя свою форму, не выходят за эти угловые пределы [1] Нетрудно видеть на рис.

12, что и дельфины движутся аналогичным образом.

Приведенные выше наблюдаемые факты указывают на то, что и вязкая воздушная среда должна реагировать на деформацию, аналогично водной среде. Ещё со времён библейского царя Соломона считалось, что «нет следа птицы в небе». В этом утверждении усомнились авторы [29]. Проведя опыт с живой птицей – зябликом, они получили результат, представленный на рис. 13.

Как видим, авторам удалось сделать невидимое явление видимым, при помощи удачно подобранного трассёра (пыльцы травы тимофеевки), стробоскопической подсветки и техники скоростной киносъёмки.

Эксперимент показал, что след птицы в небе представляет спутную струю, на которую нанизана последовательность тороидальных вихрей, формирующиеся при толчковом взмахе крыльев. Нечто подобное должно формироваться и в водной среде движущимися гидробионтами. Кто наблюдал за взлётом и полётом птиц, непременно слышал шум взмаха крыл. Этот шум является следствием преобразования части энергии полёта в шум обтекания. В энергетическом спектре этого шума, в соответствии с предсказаниями модели, непременно должны проявиться характерные размеры источника сил, деформирующих среду и расстояние, проходимое телом за один взмах крылом или хвостом, его «шагом» [52]. По этим шумам «жертва» и «хищник» в водной стихии и отличают друг друга. На фотографиях (рис. 1, 2, 5-7), роль трассёра играл водяной пар атмосферы, который при вызванных препятствием вертикальных движениях воздушных масс, испытывает фазовые превращения. Эти движения и делают видимыми, как местоположение самих островов, так и порождаемые ими автоструктуры.

Фотографии подтверждают тот факт, что независимо от природы деформирующей силы и её масштаба, среда откликается инвариантным способом, формируя соответствующие автоструктуры. Более того, они демонстрируют и тот факт, что возникшее движение в вязкой среде, при относительном обтекании препятствий любой природы, носит волновой и колебательный характер. А это значит, что при создании подходящей системы наблюдений, этот процесс наблюдаем, и может контролироваться прямо или опосредовано.

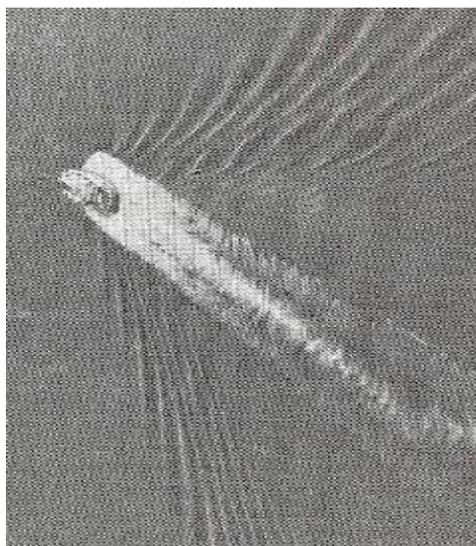


Рис. 7. След катера на поверхности воды [23].



Рис. 8. Преобразование тороидального вихря при его касании поверхности воды.



Рис. 9. Фотография формирующегося ринга из меандра в Гольфстриме [ИСЗ «Метеор»].

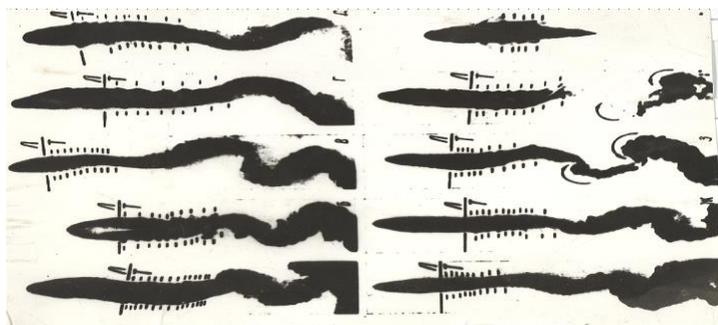


Рис. 10. Подкрашенный след ставриды в гидродинамическом лотке [1].

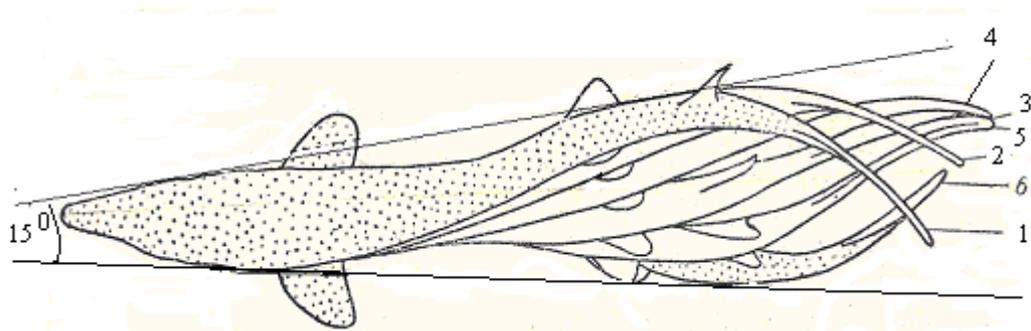


Рис. 11. Кинограмма движения осетра, приведённая к одному моменту. Цифрами обозначена последовательность кадров с различной фазой движения [28].

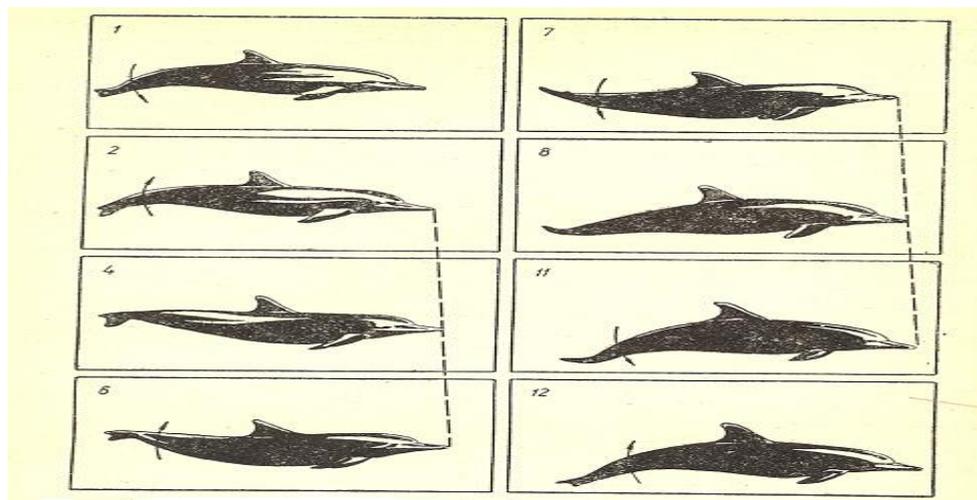


Рис. 12. Кинограмма движения дельфина. Цифрами обозначена последовательность кадров в разной фазе движения [28].

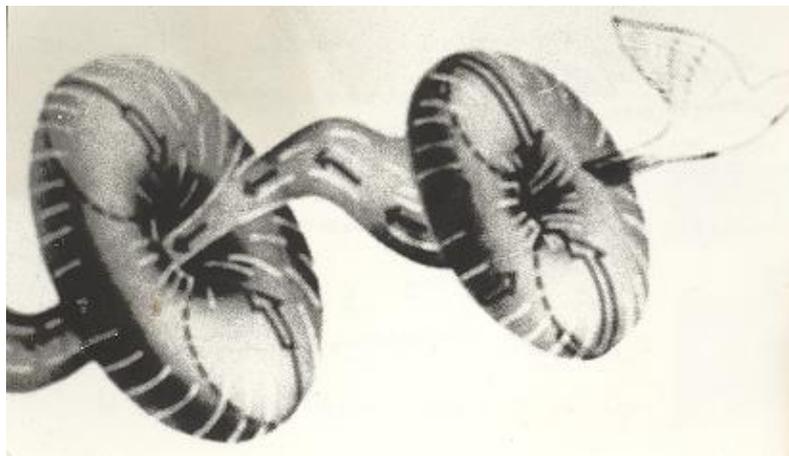


Рис. 13. След птицы в воздухе в полёте [29].

Такую возможность предвидел ещё великий И.В. Гёте:

Ничего нет внутри, ничего нет снаружи,  
Ибо то внутри, то и снаружи,  
Так хватайте без промедления  
Святую, открытую тайну.

Эти факты и являются подтверждением того, что ОДС любой природы перерабатывают

энергию, вещество и информацию колебательными и волновыми процессами. Ещё одним подтверждением этому эмпирическому факту является ритмическая структура всех процессов в биосфере, в том числе и в организме человека.

## ПРОЯВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБОЛОЧКАХ ЗЕМЛИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРАХ ТЕКУЩИХ ПРОЦЕССОВ

О структурных преобразованиях, происходящих в различных оболочках Земли при их деформации, можно судить не только по визуально наблюдаемым структурным изменениям, с помощью различных технических средств, но и по спектральным характеристикам сигналов, регистрируемым в широком диапазоне частот, что и демонстрируют приводимые ниже спектры различных процессов. На рис. 14-23 приведены примеры таких спектров.

На них отчётливо видны спектральные пики в характерных диапазонах частот. Физическую интерпретацию этим пикам мы дадим в соответствующих разделах монографии.

Приведенные фотографии и спектры различных явлений в литосфере, гидросфере и атмосфере демонстрируют масштабную инвариантность законов структурных и энергетических преобразований в среде, независимо от её фазового состояния.

Если о наблюдаемой масштабной инвариантности на приведенных фотографиях можно вынести лишь качественное суждение, то спектры дают возможность оценить её и количественно. Действительно, нетрудно видеть, что на энергетических спектрах приведенных деформационных процессов мы видим два характерных пика. Такие спектры называют по-разному: билинейные, биспектры, бимодальные, бинарные. Условимся здесь называть их

бинарными. Логично будет предположить, что через них проявляются адаптационные процессы систем к деформационным процессам. Такими процессами в литосфере могут быть как землетрясения, так и антропогенная деятельность; в атмосфере и гидросфере – деформационные процессы, связанные с различными движениями как воздушных и водных масс, так и объектов различной природы в них (в том числе естественных и рукотворных). Конкретные же формы, способы и механизмы адаптации (гомеостаза) ОДС различной природы разнообразны и имеют свои особенности. Общим для них, по нашим представлениям, являются наличие процессов самоорганизации и саморегуляции и двух субстанциональных свойств среды, определяющих сопряжённость бинарных энергетических спектров. Так, относительно низкочастотные составляющие спектров отражают адаптацию ОДС к инерционным свойствам среды, а относительно высокочастотные – к упругим, что и обеспечивает адаптацию системы к вариациям потоков энергии, веществ и информации в среде. Эти два механизма адаптации действуют почти синхронно и одновременно, обеспечивая максимальную эффективность функционирования ОДС в условиях постоянно меняющихся потоков субстанций в области фазового перехода (бифуркации): либо через механизм «накопление-сброс» в режиме саморегуляции, либо через процессы укрупнения или дробления составляющих ОДС структур при переходе к режиму самоорганизации.

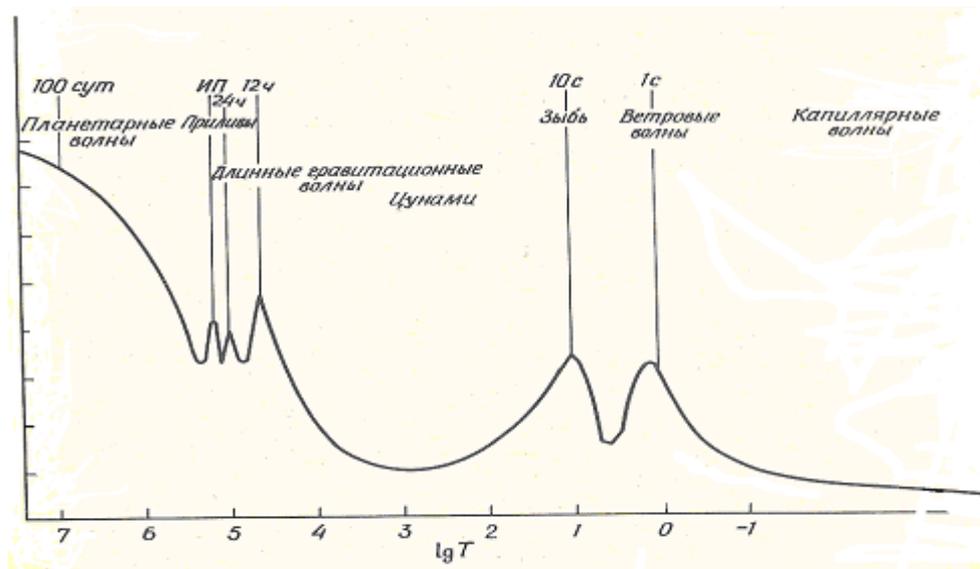


Рис. 14. Схематический энергетический спектр волнения морской поверхности в Мировом океане. ИП – инерционный период, связанный с вращением Земли на широтах  $\pm 20^\circ$ . Амплитуды на схеме условны и не полностью отражают реальные соотношения [34].

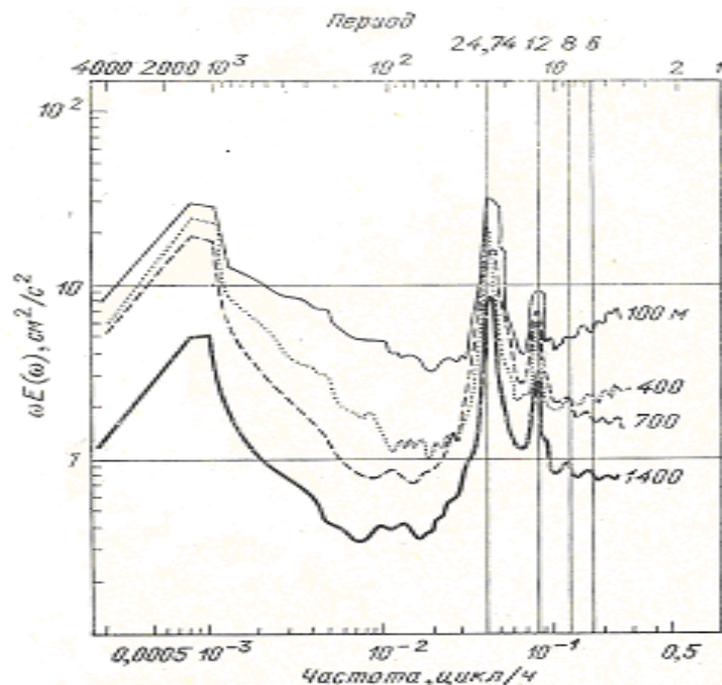


Рис. 15. Частотный спектр течений на горизонтах 100, 400, 700 и 1400 м по данным измерений в советско-американском эксперименте «Полиморе» в Саргассовом море (июль-сентябрь 1978 г). По осям отложены значения циклической частоты и произведение спектральной плотности на частоту [24].

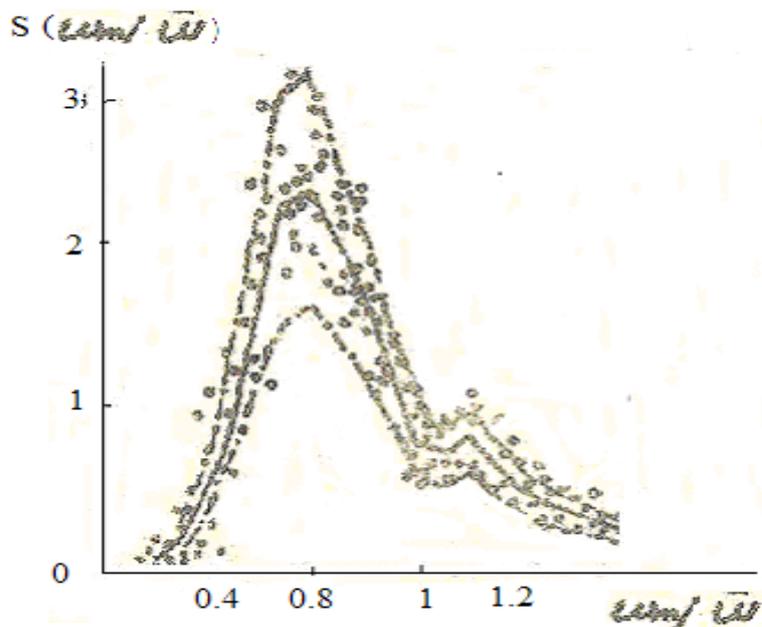


Рис. 16. Спектр морского волнения, измеренный в Каспийском море на глубинах ~25 м, при скорости ветра 7-15 м/с и разгоне ~100-300 км.  $\omega/\omega_0$  – отношение частоты доминирующего максимума к текущей средней; o – данные наблюдений; сплошная линия – обобщённый спектр; штрих-пунктирной линией отбит доверительный интервал [27].

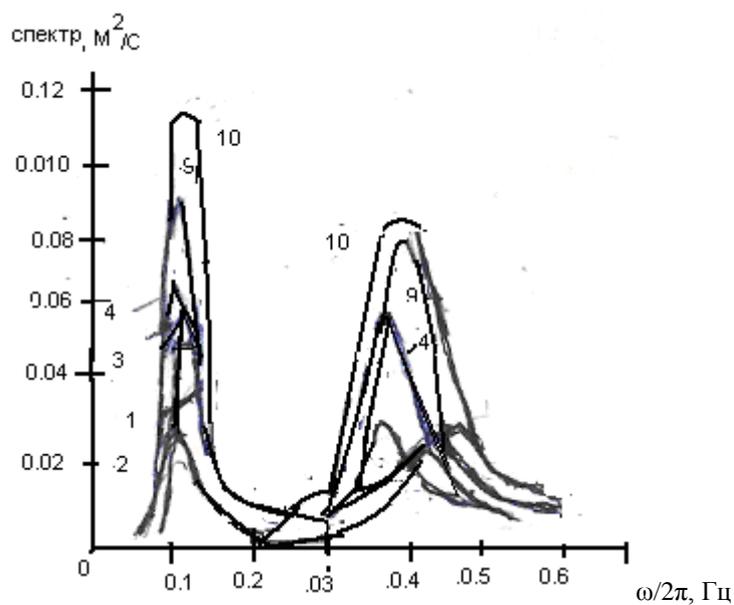


Рис. 17. Спектры поверхностных волн  $S(\omega/2\pi)$  в Северном море. Большие цифры соответствуют волнению на больших глубинах. Хорошо видно, как спектральные максимумы волн зыби и ветровых волн при переходе к мелководью резко уменьшаются [23].

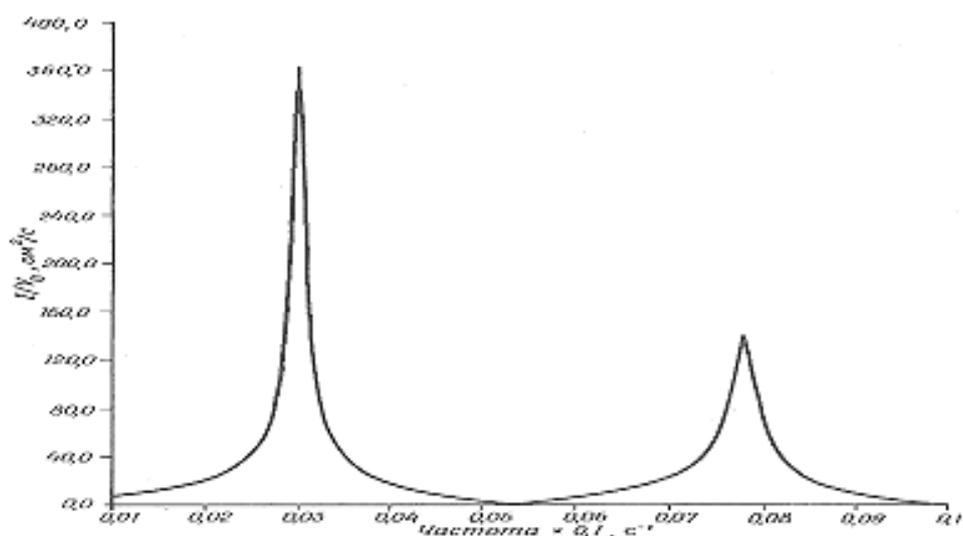


Рис. 18. Отклик гавани Сен-Джун на движение вод (Брит. Колумбия) в функции частоты. По оси ординат – объёмный расход  $I$  на входе, отнесённый к единичной амплитуде  $V_0$  входной волны [23]

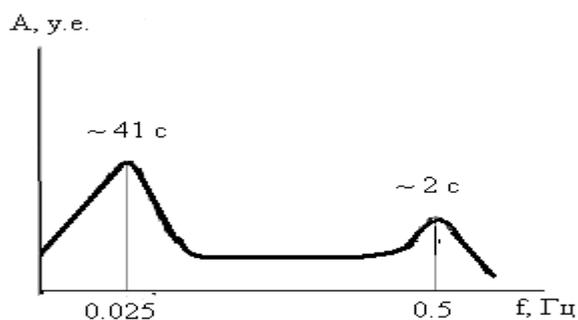


Рис. 19. Сглаженный энергетический спектр землетрясения в Мехико 19 сентября 1985 г. [10, 14]

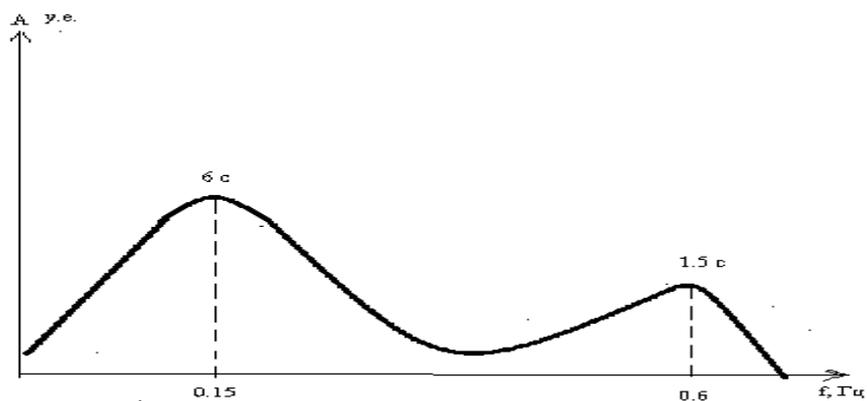


Рис. 20. Сглаженный спектр сигнала подземного атомного взрыва в 1978 году на юге штата Невада [3].

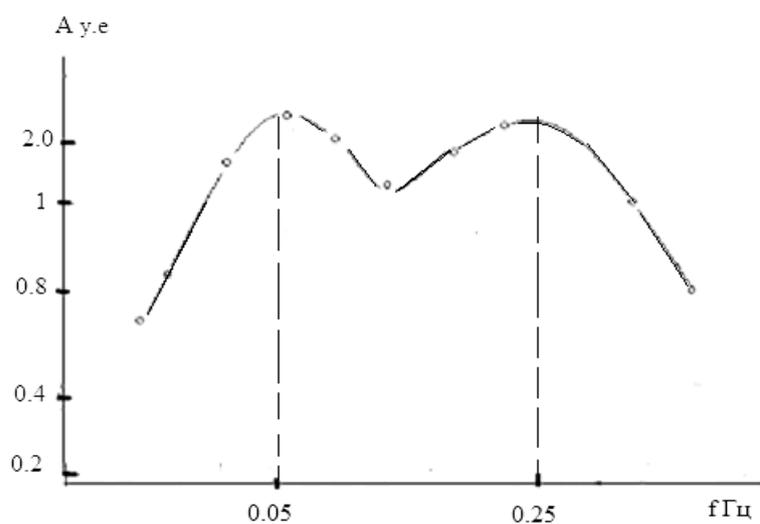


Рис. 21. Сглаженный энергетический спектр одного из землетрясений 1978 года в районе Курильской гряды [14].

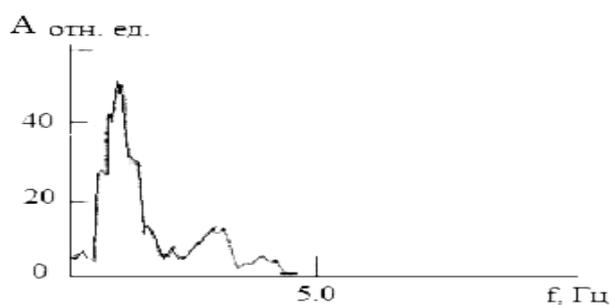


Рис. 22. Энергетический спектр, характерный для глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндукушского геополигона ИФЗ РАН в Гарме, [40].

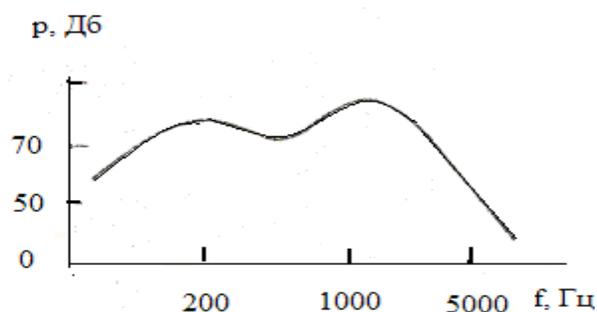


Рис. 23. Сглаженный энергетический спектр шума обтекания планера самолёта «Локхид джет стар» с выпущенными шасси при посадке [31].

### ПРИРОДА КАК СИСТЕМА ГЕНЕТИЧЕСКИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ОТКРЫТЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОДСИСТЕМ

Приведенные в предыдущих пунктах эмпирические факты наглядно демонстрируют, что их действительно что-то связывает и объединяет.

Наличие такой объединяющей связи ожидал В. И. Вернадский ещё в первой трети XX века, считая, что среда обитания и жизнь неотделимы друг от друга и генетически тесно между собой связаны. В явном же виде она получена в результате эмпирического обобщения только в конце XX века [10, 14] и представлены ниже в виде феноменологической и теоретической моделях процессов самоорганизации и саморегуляции открытых динамических систем (ОДС).

### ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДС

Для построения модели, нами использован большой массив наблюдений за землетрясениями, подземными взрывами и извержениями вулканов [10, 14]. В этом материале мы обратили внимание на наличие в их энергетических спектрах выделяющихся по амплитуде характерной пары частот, обладающих заметной согласованной динамикой, зависящей от активности сейсмического процесса. Эта согласованность проявлялась в их сближении или расхождении по шкале частот. При этом нарастание активности процессов сопровождалось сближением этих частот, а ослабление — расхождением. Эти явления устойчиво наблюдались и в спектрах сейсмических сигналов, и при извержении вулкана Большой Толбачек [26], и в спектрах излучений глубокофокусных землетрясений в Памиро-Гиндукушском реги-

оне [25]. Такая закономерность подтверждается, как энергетическими спектрами сейсмических сигналов от других крупных землетрясений (в Мехико, например), так и энергетическими спектрами подземных ядерных и промышленных взрывов [3, 14].

В настоящее время уже сложились устоявшиеся представления на физическую природу спектра очагового сигнала, основные особенности которого определяются характером текущего процесса и условиями сформировавшимся в очаговой зоне в момент события. С учётом этого можно составить размерные комбинации из регистрируемых физических величин, существенных для очагового процесса:

$$L_i = \frac{C_p}{\sqrt{f^* f}} \quad (1.1)$$

$$v_i = C_p \sqrt{\frac{f^*}{f}} \quad (1.2)$$

где  $L_i$  — характерные размер очаговой зоны или блока литосферы, подвижка которого послужила источником энергии деформации;  $v_i$  — характерная скорость процесса (подвижки, вспарывания);  $C_p$  — скорость распространения продольных волн на глубине процесса;  $f^*$  и  $f$  — характерные (выделяющиеся) частоты в энергетическом спектре процесса [10]

Введём масштабный коэффициент  $k$  в формулу (1), смысл которого будет ясен позднее:

$$k L_i = \frac{C_p}{\sqrt{f^* f}} = \frac{C_p}{N} \quad (1.3)$$

где  $N = \sqrt{f^* f} = \text{const.}$

Из формул (1.1-1.3) следуют выражения для характерных частот в спектре источника излучения (очага):

$$f_i^* = \frac{V_i}{kL_i} \quad (1.4)$$

$$f_i = \frac{C_p^2}{kL_i v_i} \quad (1.5)$$

Как видим из выражений (1.4 и 1.5), характерные частоты в спектре излучения источника энергии деформации взаимосвязаны с его характерным размером и скоростью деформационного процесса. Причём со скоростью процесса противоположным образом. Этот результат озадачил не только нас, поскольку он противоречит общепризнанной теории гармонического осциллятора и всей современной теории колебаний.

Однако формулы (1.1-1.5) были выведены несколько ранее совсем из других соображений, что не могло быть случайным. Основу для вывода этих формул составили два независимых друг от друга результата. Один основан на обобщении в полуэмпирической формуле большого эмпирического материала, [42], другой – на точном решении Риманом уравнения Навье-Стокса. Ниже излагается этот вывод.

В 70-х годах 19 века английский учёный Струхаль, исследуя причины свиста снастей парусных судов при шторме, вывел полуэмпирическую формулу:

$$St = \frac{Lf^*}{v} \quad (1.6)$$

где  $St$  – число Струхалья,  $L$  – характерный размер тела вдоль потока,  $f^*$  – частота срыва вихрей,  $v$  – скорость потока. Как оказалось, эта формула описывает единственный в природе самопроизвольный периодический процесс, сопровождающий все виды течений.

Несколько ранее, немецкий математик Риман, из решения уравнения Навье-Стокса для плоской синусоидальной волны, распространяющейся в слабо диспергирующей среде, получил расстояние, на котором она превратится в ударную волну [8]. Несложное преобразование этого решения, приводит к выражению для частоты этой волны:

$$f = \frac{C_p^2}{vkL} \quad (1.7)$$

где  $C_p$  – скорость звука в среде,  $k$  – масштабный коэффициент, а остальные обозначения, как и в (1.5).

Дадим физическую интерпретацию введённым масштабным коэффициентам. Прежде всего, в формуле (1.3)  $k$  выступает в виде сомножителя при размере очага ( $L$ ), что можно трактовать как масштабный коэффициент в де-

формируемой очагом области охваченной деформационным процессом. Тогда ( $kL$ ) можно представить как процесс консолидации/дробления блоков земной коры в деформируемой зоне, т. е. процесс самоорганизации. В формуле (1.7)  $k$  выступает как масштабный коэффициент при длине деформируемой волны. Тогда ( $kL$ ) можно трактовать как расстояние, на котором эта волна превращается в ударную волну. При такой трактовке масштабный коэффициент в обоих случаях имеет один и тот же смысл, а именно, соразмерность формируемых автоструктур с размером источника энергии деформационного процесса.

Число Струхалья, по известным экспериментальным данным изменяется в довольно узких пределах (от 0,17 до 0,48). Следовательно, масштабный коэффициент, являясь обратной величиной этого числа, также колеблется приблизительно в пределах от 2 до 6. О причинах такого разброса эмпирических чисел Струхалья у различных исследователей речь пойдёт ниже.

Процессы же превращения гладкой синусоидальной волны в ударную, опрокидывание её гребня, или срыва вихря с обтекаемой снасти, по физической сути аналогичны. И в том и другом случае затрачивается часть кинетической энергии процесса на искажение формы звуковой волны и на формирование вихревых структур. Грубой аналогией этого процесса может служить выход волн с глубокой воды на мелководье, обрушение гребня волны, сопровождаемого шумом прибоя. При этом расстояние, проходимое потоком, одно и то же. С учётом этого, из (1.1) и (1.2) следует:

$$kL = \frac{C_p}{\sqrt{ff^*}} = \frac{C_p}{N} \quad (1.8)$$

$$v_i = C_p \sqrt{\frac{f^*}{f}} \quad (1.9)$$

где  $N \doteq \sqrt{f^* f} = \text{const}$ ,  $kL = \text{const}$ ,  $C_p = \text{const}$ , т. е. инвариантные частота процесса переработки энергии в системе, формируемые структуры и скорость распространения механической (акустической) энергии в данной среде взаимно обусловлены (функционально связаны).

Другими словами выражение (1.9) говорит, что характерные размеры формируемых в набегающем потоке ( $kL$ ) структур, в следе за препятствием, определяются термодинамическим состоянием среды ( $C_p$ ) и сопровождается упругими колебаниями на паре взаимно сопряжённых частот, произведение которых – величина постоянная и не зависит от скорости обтекаю-

щего потока. В то же время, сама скорость деформационного процесса зависит от  $C_p$  и от отношения генерируемых процессом частот. Отсюда следует, что о скорости процесса можно судить по динамике отношения характерных частот процесса по формулам (1.2 и 1.9).

Область значений  $v_i$ , в которой выполняется условие независимости произведения генерируемых процессом частот и есть область саморегуляции системы. В области самоорганизации система вынуждена изменить характерный масштаб взаимодействующих структур  $L_i$  и соответственно изменятся генерируемые процессом характерные частоты и их произведение. После произведенных изменений, система вновь переходит в режим саморе-

гуляции. При этом мы понимаем процесс (режим) самоорганизации как процесс любой перестройки системы, который обеспечит существование системы в изменившихся условиях.

Такая трактовка режима самоорганизации шире термодинамической [10, 13, 32]. В отличие от термодинамической трактовки, как «бесконечного числа неустойчивых периодических траекторий и несчётного количества непериодических повторяющихся траекторий» [30, с.48], в нашей модели преобразование ОДС в точке бифуркации может идти только по одной из двух траекторий: генерализации (укрупнения структур) и специализации (дробления структур). Рис. 22 схематично иллюстрирует эти возможности.

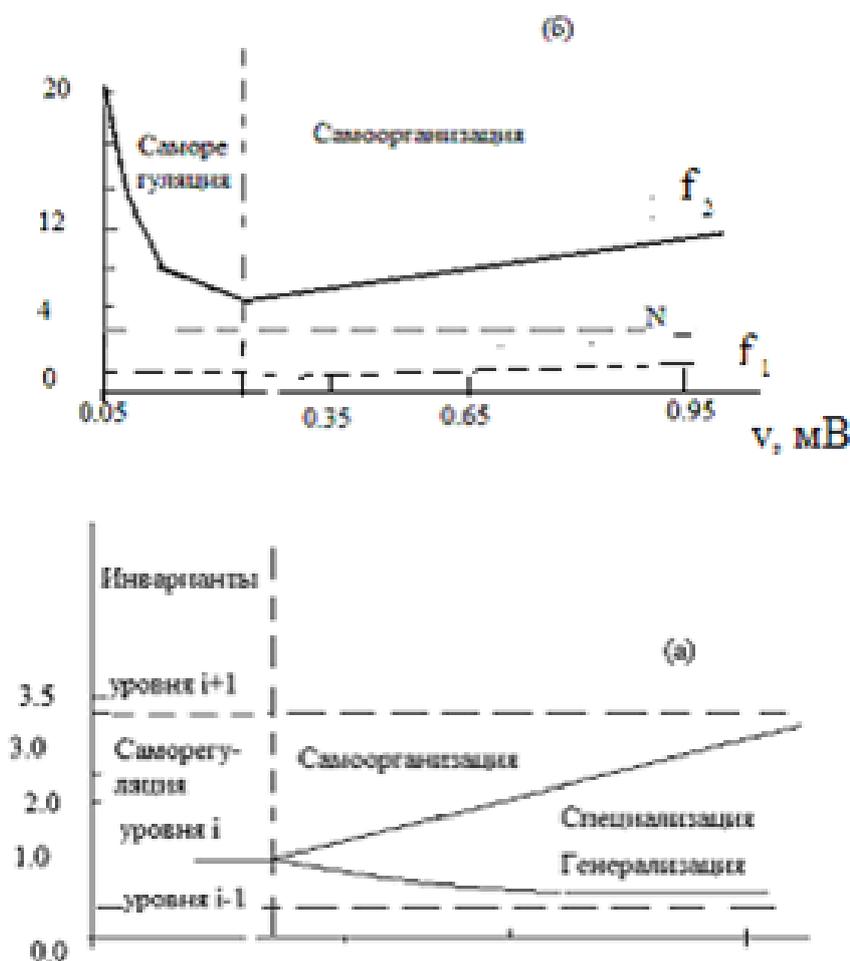


Рис. 24. Зависимости инвариантных (а) и сопряжённых (б) частот от интенсивности обмена ОДС потоками веществ, энергии и информации с внешней средой в режимах саморегуляции и самоорганизации, на примере генерации электрического импульса нервной клеткой [32].

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

На основании обобщения имеющихся эмпирических данных о разномасштабных процессах, особенности которых представлены в их энергетических спектрах, нами выделены следующие закономерные черты этих процессов [32]:

1. При воздействии внешнего фактора, интенсивность которого превышает некоторую допустимую величину, система откликается на него в режиме саморегуляции дискретно по схеме «накопление-сброс» в виде переизлучения избыточной энергии на частотах, зависящих как от интенсивности воздействия, так и от термодинамических условий среды в месте события (от скорости распространения продольных волн, например).

2. Одним из очевидных механизмов (способов), обеспечивающих повышение скорости переработки ОДС изменчивых потоков поступающих субстанций, представляется механизм сокращения длительности циклов «накопление-сброс». Частота формирующихся при этом колебаний переменных, характеризующих состояние системы, синхронно растёт с увеличением потоков, что можно выразить в виде:

$$f_1 = F(v_1) \quad (1.10)$$

где  $v$  – интенсивность потока (скорость переработки поступающих субстанций).

Раскладывая  $F(v)$  в ряд, и ограничившись линейным членом разложения, получим:

$$f_1 = f_0 + k_1 v = k_1 (v - v_0) \quad (1.11)$$

где  $k_1$  – коэффициент пропорциональности.

Этот механизм характеризуется наличием инварианта:

$$L_0 = \frac{v - v_0}{f_1} \quad (1.12)$$

Физический смысл этого инварианта зависит от природы ОДС и может быть выяснен из анализа размерностей переменных, описывающих ОДС. Так, например в гидро- и аэродинамике  $v$  – скорость потока,  $f_1$  – частота пульсаций или срыва вихрей (частота Струхаля), характерный размер турбулентных вихрей или масштаб турбулентности. Применительно к нервной клетке  $v$  – сила стимулирующего тока,  $f_1$  – частота формирования импульсов, а  $L_0$  будет иметь размерность характерного заряда.

3. Другим механизмом, который может также обеспечить повышение скорости переработки ОДС поступающих субстанций в режиме саморегуляции может быть увеличение объёма субстанции, перерабатываемой за один цикл

«накопление-сброс». Этот механизм приводит к формированию колебаний с частотой:

$$f_2 = \frac{v}{U} \quad (1.13)$$

где  $U$  – объём субстанции, перерабатываемый за один цикл «накопление-сброс» за время  $T(U)$ . Тогда скорость переработки определится как:

$$v_1 = \frac{U}{T(U)} f_1 = f_0 + k_1 v = k_1 (v - v_0) \quad (1.14)$$

Совершенно очевидно, что ОДС справится с переработкой потоков субстанций, если она будет выравнивать свою скорость со скоростью поступления их извне, т. е.  $v = v_1$ . Отсюда следует:

$$f_2 = \frac{1}{T(U)} \quad (1.15)$$

Так как  $U$  монотонно растёт со скоростью поступления субстанций, а  $T(U)$  синхронно с  $U$ , то  $f_2$  также растёт монотонно обратно пропорционально скорости потоков  $1/v$ . Разложив эту зависимость в ряд, пренебрегая квадратичными членами, получим:

$$f_2 = \frac{k_2}{V - V_0} \quad (1.16)$$

И уравнений (1.11) и (1.16) следует, если нелинейными членами разложения в ряд, вследствие их малости, допустимо пренебрегать, то при использовании ОДС описанных нами двух механизмов переработки поступающих потоков веществ, энергии и информации, каждому уровню иерархии ОДС можно сопоставить инвариантную частоту, которая не будет зависеть от скорости:

$$N = \sqrt{f_1 f_2} = \text{const} \quad (1.17)$$

Как видим теоретический выведенный частотный инвариант ОДС (1.12) полностью совпадает с аналогичными инвариантами в знаменателях (1.1), (1.3) и (1.9) феноменологической модели D-SELF, полученными независимо из явно не связанных между собой результатов исследований по исходным данным и областям знаний.

Очевидно, что выражения (1.10-1.12) можно легко перевести из частотной области во временную:

$$\tau_i = \frac{1}{f_i}; n_i = \frac{1}{N_i} \quad (1.18)$$

Из феноменологической модели следует, что ОДС любой природы должна иметь пространственный, временной и частотный инварианты. Зная объём поступающей субстанции, её удельную плотность вещества ОДС, нетрудно определить и вещественный инвариант конкретной ОДС.

Теоретическое подтверждение адекватности феноменологической модели послужило основанием для рассмотрения в качестве системных (инвариантных) связей абстрактной ОДС  $S_0$ , следующие параметры [13]:

$$L_0 = T_0 C_0 \quad (1.19)$$

$$\lambda_0 = t_0 c_0 \quad (1.20)$$

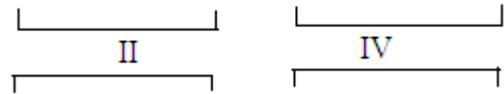
$L_0, T_0$  – пространственный и временной масштабы ОДС в режиме

самоорганизации, а  $C_0$  – скорость переработки и транспортировки поступающих в неё извне субстанций;  $\lambda_0, t_0$  – пространственный и временной масштабы сигналов, генерируемых ОДС в режиме саморегуляции, а  $c_0$  – скорость переработки и транспортировки в ОДС субстанций и сигналов в этом режиме.

Выразим наблюдаемую масштабную иерархию во внутреннем устройстве ОДС и

вне её в виде следующей последовательности их характеристик:

$$\dots L_n \dots L_2, L_1, L_0, L_1^*, L_2^* \dots L_n \dots (1.21),$$



$$\dots T_n \dots T_2, T_1, T_0, T_1^* \dots T_2 \dots T_n \dots (1.22),$$

где диапазоны масштабов внутри ОДС обозначены II ветвью последовательностей (3) и (4), вне ОДС – IV – ветвью тех же последовательностей.

Масштабная инвариантность функционального параметра иерархии  $k$  [15] даёт основание для  $L_n$  и  $T_n$  выписать следующие соотношения:

$$L_n = k^n L_0, \quad L_n^* = (k^*)^n L_0$$

$$kk^* = 1 \quad (1.23)$$

$$T_n = k^n T_0, \quad T_n^* = (k^*)^n T_0$$

Тогда симметрия сопряжённых пространственных и временных масштабов в цепях (1.21) и (1.22) выразится в постоянстве произведений членов одинаковых номеров в этих последовательностях:

$$L_n = (L_n L_n^*)^{1/2}, \quad T_n = (T_n T_n^*)^{1/2} \quad (1.24)$$

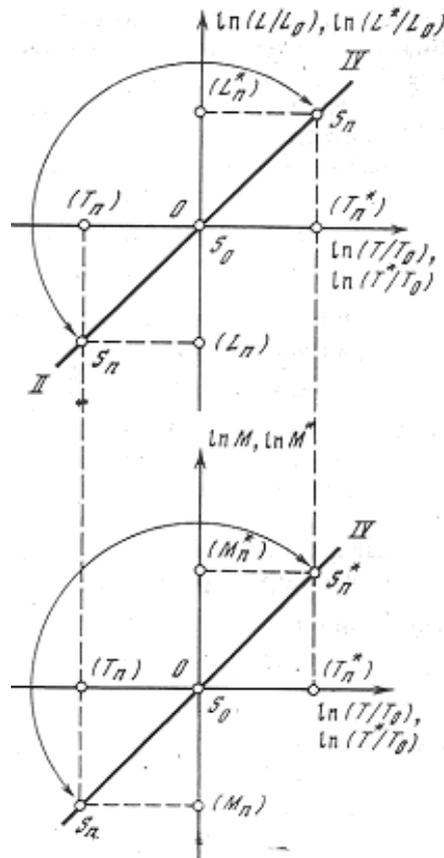


Рис. 25. Симметрия сопряжённых пространственных ( $L_n L_n^*$ ), временных ( $T_n T_n^*$ ) и скоростных и  $S_n^*$  параметров ОДС ( $S_n$ ) относительно соответствующих инвариантов ( $L_0, C_0, T_0$ ).

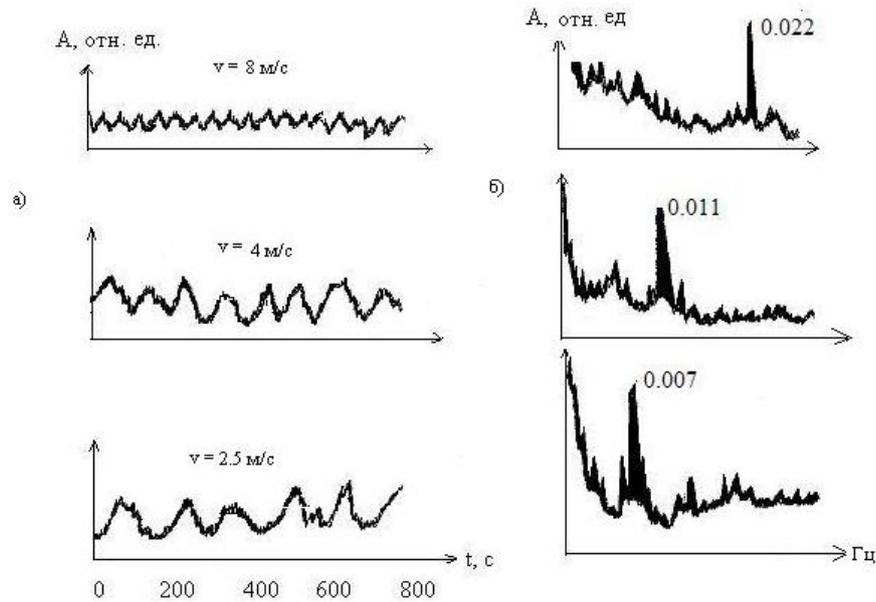


Рис 26. Колебания напряжения в цепи питания автоматической системы управления рулями морского транспортного средства на разных скоростях хода (а) и их спектр (б) [19].

Графическая интерпретация симметричных и сопряжённых параметров ОДС представлена на рис. 25 точками  $S_n$  и  $S_n^*$ . Эмпирические примеры ОДС различной природы приведены в разделе 1 и в работах [10-19]. Масштабы ветвей II и IV в (1.21) и (1.22), представляют вещественные структуры ОДС в режиме самоорганизации.

Графическое отображение режима саморегуляции можно представить простой заменой параметров самоорганизации на параметры сигналов саморегуляции ( $L$ ,  $t$  и  $c$ ). Сопряжённость параметров систем  $S_n$  и  $S_n^*$  показана дуговыми стрелками, а симметрия – через равенство их проекций на оси координат.

Рис. 25 демонстрирует то, что в режиме саморегуляции переработка энергии веществ и информации в ОДС осуществляется на попарно сопряжённых частотах колебательными и волновыми процессами, что и проявляется в виде попарно сопряжённых сигналов саморегуляции.

Наиболее важным на наш взгляд результатом изложенного подхода, является то, что он позволяет с единых позиций описывать два глобальных процесса в эволюции ОДС: их деградацию с потерей информации и соответствующим ростом энтропии (II ветвь рис. 25) и развитие, сопровождаемое ростом информации и уменьшением энтропии (IV ветвь рис. 25). Более подробно об этом будет изложено в спе-

циальном разделе, посвящённом информационному инварианту ОДС.

Необходимо особо подчеркнуть, что оба названных режима проявляются через «золотое сечение», как бы подчёркивая удивительную гармонию, взаимосвязь и взаимозависимость этих эволюционных путей в природе.

В абстрактном виде это можно записать так:

$$\frac{\xi_n}{\xi_0} = \frac{\xi_0}{\xi_n^*} \quad (1.25)$$

где  $\xi_n$ ,  $\xi_n^*$ ,  $\xi_0$  – произвольные параметры ОДС.

Поэтому предложенной модели дана аббревиатура «D – SELF», что означает её непосредственное отношение к названным двум (double) взаимосвязанным путям эволюции ОДС в жизненном цикле: самоорганизации (self organization) и саморегуляции (self regulation).

Из последнего соотношения следует, что ОДС любой природы имеют оси симметрии 5-го порядка, проявляющиеся при деформации, хотя ранее считалось, что симметрия такого порядка – привилегия только живых систем [8, 15].

Изложенные выше феноменологические и теоретические представления о режимах самоорганизации и саморегуляции позволяют осветить основные показатели, от которых зависят переходы режимов функционирования ОДС к

потоковым и кумулятивным величинам. Причём потоковые величины обеспечивают функционирование ОДС в режиме саморегуляции (динамической устойчивости, гомеостаза), а кумулятивные – определяют те пороговые величины, когда система вынуждена переходить к новому режиму функционирования самоорганизации. Так, при воздействии на ОДС потоковых величин, когда интенсивность последних превышает некоторую пороговую величину, система «отрабатывает» дискретно, посредством механизма саморегуляции, по схеме «накопление-сброс». Наглядными примерами такого характера процессов являются отрывные течения за телами конечных размеров, атмосферные объекты, формирующие погоду, работа сердечно-сосудистой системы, импульсация нервной системы и др. Схему «накопление-сброс», для отрывных течений наглядно демонстрирует, знакопеременный характер ускорений, испытываемый телами при движении в вязкой жидкости. Косвенно это подтверждает запись колебаний напряжения в цепях автоматического управления рулями транспортного средства на трёх скоростях его хода, представленная на рис. 26. Строгое соответствие формуле Струхали колебаний напряжения в цепях управления рулями, убедительно демонстрирует знакопеременный характер ускорений, испытываемый телами при движении их в вязкой жидкости и адекватность спектральных представлений о процессах формирования автоструктур, приведённых на фотографиях в первом пункте.

Изложенные выше теоретические соображения послужили эмпирической основой для поиска в потоковых и кумулятивных характеристиках в процессах переработки энергии, веществ и информации на тех же частотах в других средах, поскольку частоты процессов инвариантны к свойствам сред.

Таким образом, нам удалось смоделировать наблюдаемую динамику ОДС различной природы, сущность которой состоит в самоподдержании их внутренней структуры путём самопроизвольного выравнивания скоростей переработки и поступления субстанций между ОДС и средой в режиме саморегуляции. Эти черты проявляются в согласованном изменении сопряжённых частот (длительностей периодов) волновых и колебательных процессов переработки субстанций, относительно собственных (нулевых) частот (периодов) ОДС так, что произведение этих частот остаётся постоянным. Физически это означает, что с изменением по-

токов субстанций изменяется продолжительность цикла переработки так чтобы скорость поступления и скорость переработки выравнились по объёму. Этим самым системы любой природы адаптируются к изменениям потоков при взаимодействии со средой и тем самым сохраняют свою целостность и жизнеспособность.

Поскольку все объекты, движущиеся в вязких жидкостях, испытывают знакопеременные ускорения, то применение сценария «накопление-сброс» к таким объектам представляется обоснованным. Этот вывод подтверждается и следующими фотодокументами следов движущихся объектов и в жидкостях, и газах.

Как видно из приведённых фотографий, автоструктуры в деформируемой вязкой среде формируются в соответствии с предсказаниями модели по сценарию «накопление-сброс». Постоянство частот, длительностей циклов переработки энергии и объёмов веществ, характерных размеров очагов энергии деформации и скорости переноса энергии в данной среде следуют из выражений (1.1-1.5). Взаимосвязь этих инвариантов и обеспечивает стабильное функционирование ОДС в сложившихся условиях. Но на вход ОДС одновременно поступает и информация о текущих объёмах и скорости поступления субстанций, которая перерабатывается в них синхронно. Рассмотрим этот процесс несколько подробнее

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИНВАРИАНТ ОДС

Известно [20], что носителем информации в природе всегда являются физические объекты. Интуитивно ясно, что количество информации, которое может нести тот или иной физический объект, как-то связано с физическими свойствами этого объекта. Общепринятым является представление о так называемом энергетическом эквиваленте информации, который определяется из основных соотношений термодинамики, связывающих термодинамическую энтропию системы с энергией. При этом молчаливо подразумевается непрерывность мироздания, в котором возможна бесконечная делимость вещества объектов. Но реальный мир состоит из реально наблюдаемых «отдельностей» (объектов) [18, 28], являющихся открытыми динамическими системами (ОДС). Эти системы устроены иерархически, обмениваются энергией веществом и информацией

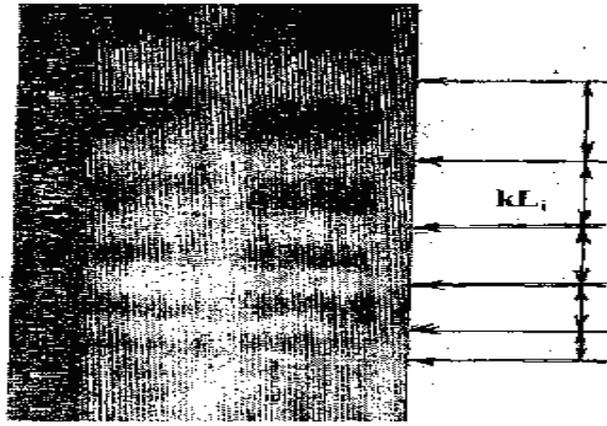


Рис. 27. Отображение следа подводной лодки, находящейся на глубине 30 м, с помощью оптической системы [ЗВО № 9-1975 г].

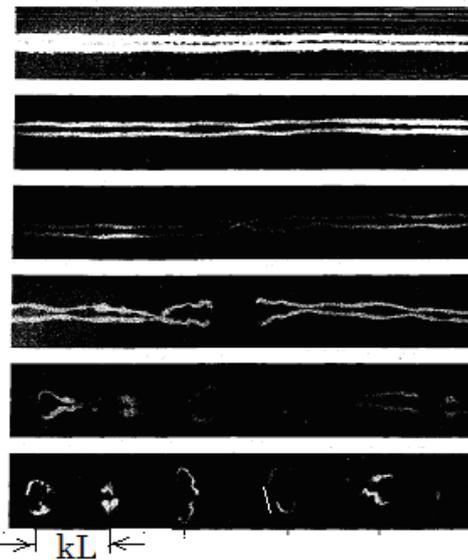


Рис. 28. Отображение следа самолёта в атмосфере (снимки сделаны с интервалом 15 секунд).

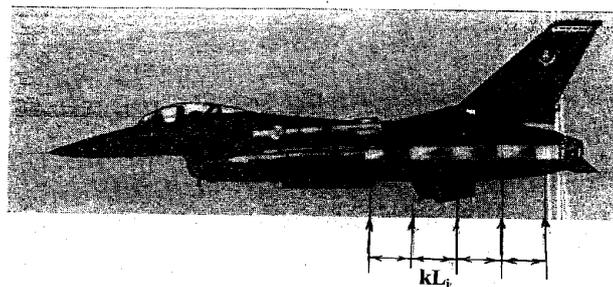


Рис. 29. Отображение следа ракеты на фоне самолёта [Альбом течений жидкости и газа. – М., 1986].

с внешней средой [10, 14] и перерабатывают поступающие извне субстанции на различных уровнях структурной организации волновыми и колебательными процессами. Величина же энергетического эквивалента информации настолько мала, что, в соответствии с такими представлениями, любое макроскопическое тело должно нести огромное количество ин-

формации. Однако на практике этого не наблюдается. Данное противоречие может быть снято введением понятий полной, свободной и связанной энтропии на основании следующих рассуждений.

Рассмотрим систему из промаркированных  $N$  частиц в некотором ограниченном объёме.

Каждая из частиц может находиться в одной из двух равных частей объема с вероятностью 0,5.

Энтропия системы при таком рассмотрении составляет 1 бит на частицу, то есть всего  $N$  бит. В таком распределении частиц, эти частицы оказывают давление на стенку, совершая некоторую работу. Тогда энергетические затраты на один бит энтропии можно оценить по выражению:

$$\bar{W} = \frac{W}{N} \quad (1.26)$$

Из этого следует, что энергетическая плата за информацию (её энергетический эквивалент) достаточно мала.

Рассмотрим эту же систему как носитель информации, или как некоторый код. Каждый код обладает, как известно [25], некоторой предельной емкостью, равной его энтропии. Поэтому система, представленная в виде кода, будет обладать соответствующей информационной энтропией. Попробуем выявить соотношение между информационной и термо-

динамической энтропией на примере рассмотренной нами системы.

Несмотря на то, что термодинамическая энтропия системы составляет, как было показано,  $N$  бит на частицу, реально с помощью состояний этой системы передать  $N$  бит информации невозможно. Это связано с тем, что составляющие её частицы реально не могут быть промаркированы, а потому состояния на рис. 30 (а) и (б) рассматриваемой системы неразличимы, т.е. эквивалентны.

Такие состояния переходят одно в другое при переносе равного количества частиц слева направо и справа налево, то есть при симметричном переносе.

Таким образом, состояния, переходящие друг в друга путем симметричных преобразований, являются эквивалентными. Внешне различимыми могут быть только неэквивалентные состояния. Именно они и определяют информационную емкость системы как кода.

Нетрудно показать, что для данной системы различимо  $N+1$  состояний, и, соответственно,  $H = \log(N+1) \approx \log N$ , что существенно меньше  $N$ .

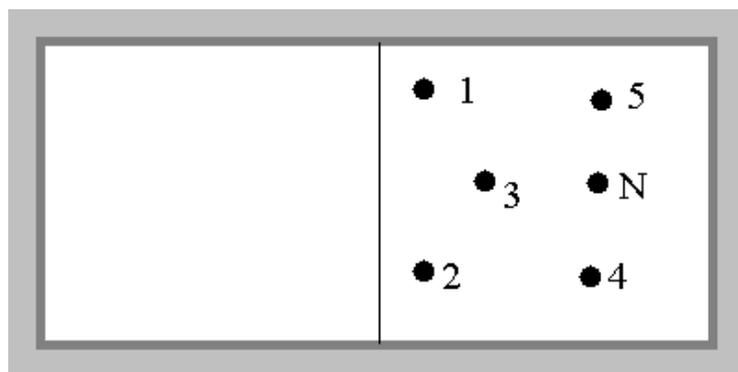


Рис. 30. Система промаркированных частиц в замкнутом объеме

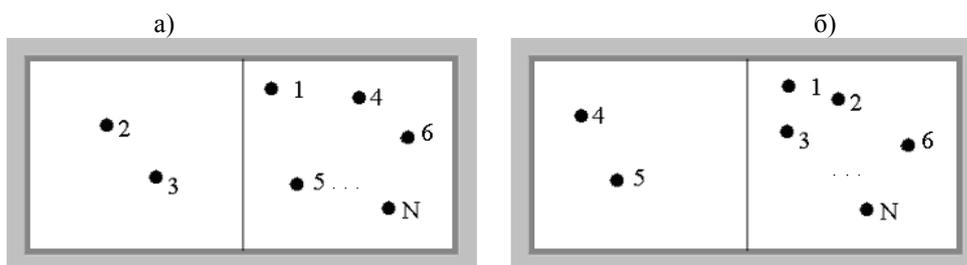


Рис. 31. Распределение условно промаркированных частиц в замкнутом объеме

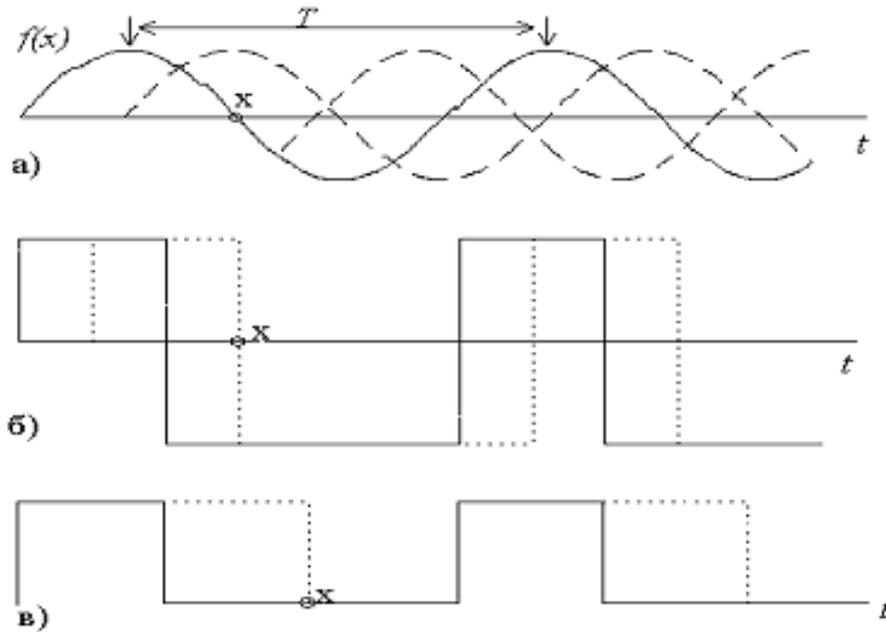


Рис. 32. Схема пространственного и/или временного процесса как кода [20]

Так как давление на стенку пропорционально числу частиц, а информация, соответственно, их логарифму, линейной связи между информацией и энергией не существует, следовательно, не существует и энергетического эквивалента в 1 бит информации. Выявившиеся в этом примере различия между информационной емкостью системы как кода и термодинамической энтропией системы вытекают из того, что в одном случае мы рассматриваем набор реально различных состояний системы, в другом – набор её формально различных состояний. Понятно, что количество вторых существенно больше, чем первых, что и определяет различия формальной и действительной информационных ёмкостей системы.

Для более подробного рассмотрения причин различия, введём величины:

$S$  – термодинамическая энтропия;

$N$  – информационная емкость.

Понятно, что ОДС любой природы обладает как термодинамической энтропией, так и информационной ёмкостью:

$$S = N; N = \log N \tag{1.27}$$

Введём дополнительно понятия свободной, связанной и полной энтропии:

$$C = N \log N \tag{1.28}$$

Тогда:

$$S = C + N \tag{1.29}$$

где  $C$  – связанная,  $N$  – свободная, а  $S$  – полная энтропия системы.

Из (1.29) видим, что полная энтропия  $S$  определяет абстрактную информационную ём-

кость системы, в то время как  $N$  задаёт действительную. А это означает, что только свободная энтропия может быть использована для кодирования информации, но ее количество всегда будет меньше полной энтропии. Для пояснения этого предположения рассмотрим периодический процесс в пространстве, или во времени:

Представляя его в виде своеобразного кода, определим набор возможных его состояний. Во всех случаях эти состояния задаются положением точек  $x_i$  на оси  $t$ . При этом, в силу периодичности  $f(t)$ , состояние  $x_i = t_0$  и  $x_i = t_0 + T$  внешне неразличимы, то есть эквивалентны (на схеме случаи а) и б)). Для случая в)  $x_i$  просто не может быть больше  $T$ .

Таким образом, набор возможных состояний ограничивается всеми различными положениями точки  $x$  внутри интервала  $T$ .

Положим, что минимальный шаг изменения  $x_i$  равен  $\Delta t$ . Тогда информационная емкость (свободная энтропия, формула 1.28):

$$N = \log T / \Delta t = \log T - \log \Delta t = \log T + \text{const} \tag{1.30}$$

Как и следовало ожидать, информационная ёмкость определяется с точностью до константы, определяемой точностью отсчёта по  $t$ .

Однако, пользуясь формулой 1.27, можно оценивать изменения  $N$  при изменениях частоты колебаний:

$$\Delta N = N_2 - N_1 = \log T_2 - \log T_1 \tag{1.31}$$

Таким образом, если абсолютное значение  $N$  определяется лишь с точностью до констан-

ты, то изменения  $N$  могут быть определены однозначно.

Рассмотрим уже неоднократно выведенное выражение:

$$f_1 f_2 = N^2 = const \quad (1.32)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – частоты сопряжённых колебательных процессов. Если обозначить через  $T_1$  и  $T_2$  периоды этих колебаний, получим:

$$T_1 T_2 = \frac{1}{N^2} = const \quad (1.33)$$

Прологарифмируя это выражение, получим  $\log T_1 + \log T_2 = const$

Применяя к этому выражению формулу (1.30) получим:

$$H_1 + H_2 = const = H_0 \quad (1.34)$$

Поскольку постоянство произведений сопряжённых частот и длительностей периодов процессов характерно для режима саморегуляции, то  $H_0$  является инвариантом ОДС и характеризует её как носитель информации в этом режиме. Следовательно, по нему можно чётко различать не только режимы функционирования ОДС, но и направление эволюции ОДС в режиме самоорганизации. Действительно, в соответствии с модельными представлениями [12, 48], снижение частоты инварианта, характеризует процесс генерализации (укрупнения), а его увеличение – процесс специализации (дробления). В первом случае информация должна теряться, поскольку происходит укрупнение составляющих ОДС блоков, а во втором – производится, т.к. разнообразие блоков растёт.

Материалы, представленные в этом разделе, показывают, что процессы самоорганизации и саморегуляции характерны для ОДС самой различной природы, поскольку подчиняются единой закономерности переработки веществ, энергии и информации, которая была выявлена путём эмпирического обобщения накопленных знаний о деформационных процессах в неживой природе.

### **МАСШТАБНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ОДС РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Огромный эмпирический материал, полученный в результате исследований деформационных процессов в разных средах, дал основа-

ние для обобщений [12, 16, 43], в результате которых оказалось, что масштабный коэффициент варьирует в довольно узких пределах. Так по данным [28] – он имеет среднее значение  $k = 3,5 \pm 0,9$ , а по нашим данным [10, 14]  $k = 4,5 \pm 1,5$  (рис. 33).

Рис. 33 и 34 демонстрируют обобщенные результаты данных, полученных при исследовании неоднородностей («отдельностей») твёрдых тел, в гидродинамических лотках и аэродинамических трубах – в жидкостях и газах, из которых видна вариабельность получаемых масштабных коэффициентов и чисел Струхала в различных организациях и странах.

Такой же разброс чисел Струхала наблюдается и при испытаниях различных моделей в аэродинамических трубах и гидродинамических лотках. Причина таких колебаний чисел Струхала оказалось банальной: этот разброс связан с разнообразием геометрических условий испытаний, несогласованностью масштабов испытываемых моделей с геометрическими размерами труб и гидродинамических лотков. Если геометрические размеры опытов выразить в безразмерных величинах, то вырисовывается вполне закономерная картина. Нами было проведено специальное исследование причин вариабельности чисел Струхала при довольно строгом соблюдении условий опытов. Предположив, не связана ли эта вариабельность с влиянием стенок бассейнов, лотков и аэродинамических труб на характер обтекания исследуемых моделей? Выразив в безразмерных величинах расстояние исследуемых моделей от стенок и границ раздела соприкасающихся сред (вода-воздух, земля-воздух, модель-стенки бассейнов, лотков и труб), мы получили результаты, приведенные на рис. 33. Как видим, на границе раздела сред, этот коэффициент близок к 2 и асимптотически приближается к 6 на расстояниях равным также 6 длинам испытываемых тел.

Несмотря на то, что влияние действующего фактора, при удалении от границ раздела разных сред, ослабевает известно давно, осознание важности этого фактора для разброса чисел Струхала наступило недавно [18] Действительно, волнение, дрейфовые течения постепенно ослабевают с глубиной и замещаются градиентными противотечениями. Известно также и то, что по мере погружения транспортных средств на глубину, волновое сопротивление ослабевает, а вихревое растёт [35]

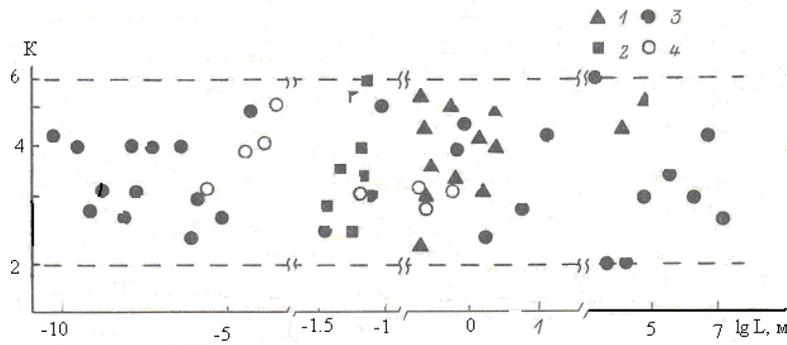


Рис. 33. Масштабный коэффициент ОДС различной природы. 1 – зависимость от размера обтекаемого препятствия; 2 – зависимость от исходных размеров твёрдых тел ( $L = \sqrt[3]{\rho/m}$ , где  $\rho$  – плотность;  $m$  – масса); 3 – зависимость от соседних по масштабу размеров «отдельностей» в литосфере; 4 – зависимость от размеров средних размеров особей в соседних таксонах в биосфере [10]

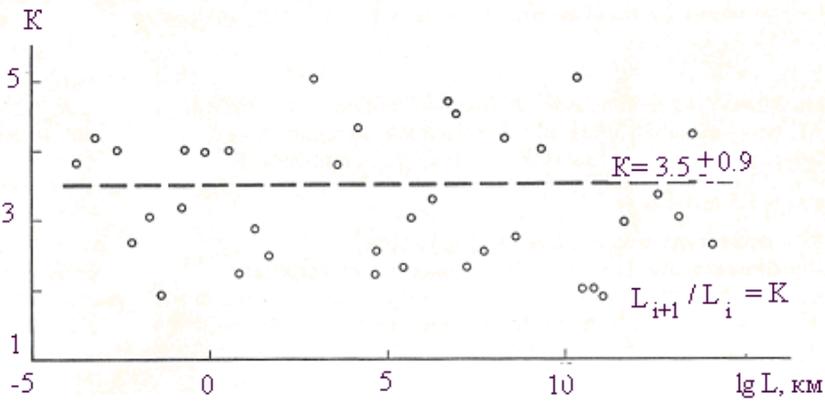


Рис. 34. Масштабный коэффициент отдельностей твёрдых тел  $K = \frac{L_{i+1}}{L_i}$  [28]

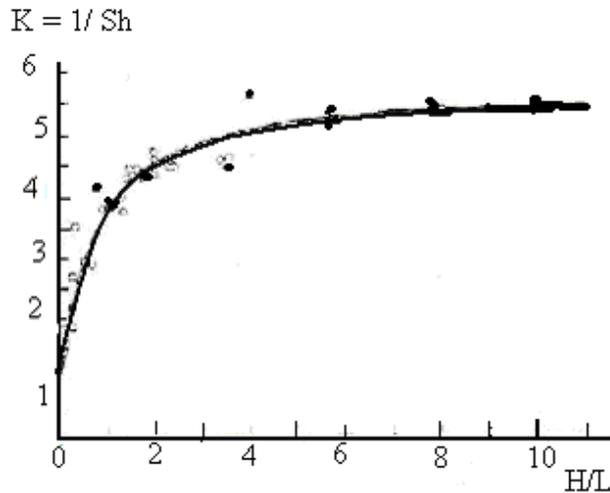


Рис. 35. Зависимость масштабного коэффициента от расстояния исследуемых объектов от стенок испытательных стендов и границ раздела жидкость-газ.  
 ° – данные гидродинамических экспериментов с удлиненными телами различной формы и рыбами (генерализация 156 результатов);  
 ● – данные аэродинамических экспериментов и наблюдений за обтеканием орографических препятствий (генерализация 21 результата); сплошная линия - аппроксимация эмпирических данных [18]

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Масштабная инвариантность – независимость основных характеристик процесса, явления, свойства от масштаба явления.

Открытая динамическая система (ОДС) – системы различной природы обменивающиеся с внешней средой энергией веществом и информацией.

Саморегуляция – тип процесса, при котором ОДС подведенные потоки энергии веществ и информации перерабатывает путём изменения скорости переработки без изменений собственных внутренней структуры и связей.

Самоорганизация – тип процесса, при котором ОДС, под воздействием подведенных к ней субстанций, вынуждена изменить собственные структуру и связи. После произведенных преобразований ОДС вновь переходит в режим саморегуляции в обновлённом состоянии. При этом преобразования ОДС могут пойти как в сторону укрупнения внутренних подсистем (генерализации), так и в сторону их дробления (специализации).

Сопряжённость. Под сопряжённость варьирующих параметров  $\zeta$  и  $\zeta^*$ , характеризующих состояние ОДС, условимся понимать инвариантную связь этих параметров относительно из среднегеометрической величины  $\zeta_0 = \sqrt{\zeta \zeta^*}$ .

$c_p$  – скорость распространения энергии в среде (in situ).

$L_i$  – характерный размер объекта в направлении действующей силы.

$f^*$  и  $f$  – характерные частоты энергетического спектра процесса, сопряжённые относительно среднегеометрической частоты из них  $(f^*f) = 172 = N_i = \text{const}$ .

$V_i$  – скорость процесса (in situ).

$k$  – масштабный коэффициент (коэффициент автомодельности).

$St$  – критерий Струхала.

$L_0, T_0$  – пространственный и временной масштабы ОДС в режиме самоорганизации.

$C_0$  – скорость переработки и транспортировки поступающих в неё извне субстанций.

$C_s$  – максимальная скорость транспортировки субстанций в среде.

$\lambda_0, t_0$  – пространственный (длина волны) и временной (период) масштабы сигналов, генерируемых ОДС в режиме саморегуляции.

$M = v_i / v_{\text{max}}$  – число Маха.  
 $Re = v_i l_i / \nu_i$  – число Рейнольдса (соотношение сил инерции и сил вязкости).  $v_i$  – скорость,  $l_i$  – длина,  $\nu_i$  – кинематическая вязкость.

$S$  – полная термодинамическая энтропия (абстрактная).

$H$  – информационная емкость.

$C$  – связанная,  $H$  – свободная энтропия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1, Приведены эмпирические данные откликов атмосферы и гидросферы на деформацию сложившихся естественных структурных особенностей среды и показана их аналогичность и независимость от масштабов явлений и процессов при формировании автоструктур в этих средах.

2. Показано, что среда откликается формированием автоструктур и сигналов на деформационные процессы любой природы. Этот отклик проявляется в изменениях энергетических спектров процессов и выражается в появлении в них попарно сопряжённых частот (периодов), несущих информации о масштабах преобразований в среде и динамике происходящих процессов.

3. Названные особенности отклика сред представлены в виде феноменологической и теоретических моделей самоорганизации и саморегуляции открытых динамических систем, которые объединены под общей аббревиатурой, указывающей на непосредственное отношение моделей к двум взаимосвязанным процессам (Double Self-organization и Self-regulation).

4. В явном виде выведен информационный инвариант режима саморегуляции открытых динамических систем, постоянство которого является надёжным признаком динамической устойчивости системы (гомеостаза).

5. Приведены обобщённые результаты по эмпирическим коэффициентам автомодельности и определён диапазон их вариаций при формировании автоструктур в пределах от 2 до 6 и показано, что его величина закономерно связана с положением источника энергии деформации относительно границ раздела соприкасающихся сред с разными свойствами.

## MANIFESTATION OF SCALE INVARIANCE OF SELF-ORGANIZATION AND SELF-REGULATION IN NATURE AND SOCIETY

Degtyaryov G.M., Nosov V.N., Shpakov P.D.

Shows the different aspects of the opened previously unknown patterns of operation of open dynamical systems (ODS) of different nature, both theoretical and applied. Presents a phenomenological and theoretical models of functioning UDF. The examples of habitats on Earth (lithosphere, atmosphere, hydrosphere, biosphere and sociosphere). The possibilities of diagnosis and prognosis of the state of future events in it.

**KEYWORDS:** SCALE INVARIANCE, SELF-ORGANIZATION, SELF-REGULATION, THE SCALE FACTOR OF OPEN DYNAMICAL SYSTEMS, SCALING INDIVIDUAL SOLID BODIES, THE INFORMATION INVARIANT OPEN DYNAMICAL SYSTEM

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алеев Ю.Г. Нектон, - Nekton. АН СССР, АН УССР. Киев: Наукова думка. 1976.
2. Алякринский Б. С., Степанова С. И. По закону ритма. - М.: «Медицина», 1985. 176 с.
3. Антонова Л.М. Кинематические и динамические характеристики Р-коды на телесейсмических расстояниях. Изв. А СССР, сер. Физика Земли, т. 2. 1987, с. 77-83.
4. Атлас временных вариаций природных процессов. Порядок и хаос в литосфере и других сферах. Том 1. М.: 1994.
5. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. Циклическая динамика природе и обществе. М.: Научный мир. 1998.
6. Бовенко В.Н., Горобец Л.Ж. О проявлении дискретности тел в процессе их измельчения. // ДАН СССР. 1987. Т. 292, № 5, с. 1095.
7. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. М.: Наука. 1975, 176.
8. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука. 1987.
9. Вонсовский С. В., Современная естественнонаучная картина мира, М., Ижевск., 2006, 680с.
10. Дегтярёв Г.М. и др. Модель генезиса и саморегуляции периодических структур в геосферах. // Изв. ВГО, 1990. Т. 122, вып. 3, с. 220.
11. Дегтярёв Г.М. и др. О взаимосвязи пространственно-временных характеристик гидродинамических процессов (на примере озёр). // ДАН СССР. 1990. Т. 313, № 3. с. 574 - 577.
12. Дегтярёв Г.М. и др. Взаимосвязь частотных характеристик озёрных течений с параметрами источника их возмущений. // ДАН СССР. 1990. Т. 314, № 6, с. 1361
13. Дегтярёв Г.М. и др. Пространственно-временная симметрия в открытых динамических системах ( Модель D-SELF). // ДАН СССР. 1990, т. 315. №5. с. 1108.
14. Дегтярёв Г.М. и др. О сходстве некоторых закономерностей динамики очагов землетрясений с различными природными закономерностями. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 2, с. 76.
15. Дегтярёв Г.М. и др. Закономерность самоорганизации и саморегуляции природных сред. Стендовый доклад на 1-ой Всесоюзной конференции «Физика и конверсия». Калининград. Московской области 1991г
16. Дегтярёв Г.М., Иванов-Ростовцев А.Г. О переизлучении звука сплошными телами различной геометрии. ДАН СССР, 1991, т.318, №5, с. 1117-1119.
17. Дегтярёв Г.М. и др. Детерминизм процессов самоорганизации и авторезонансные явления в системах с распределёнными параметрами. Препринт Ленинградского ин-та информатики и автоматизации. 1991, № 136. 48 с.
18. Дегтярёв Г.М. и др. О причинах вариаций эмпирических коэффициентов Струхала в отрывных течениях. Доклады РАН, 1996, т. 348, № 5, с 671-672
19. Дегтярёв Г.М., Цветков О.В. О природе биоритмов. // В сб. Новые идеи в естествознании. Вып. 19. СПб.: 1995, с.168.
20. Кадомцев Б.Б.. Динамика и информация. М.: Редакция УФН. 1997. 397 с..
21. Козлов В.Ф. Биогидромеханика. Киев: Вища школа. 1978
22. Кокшайский Н.В. Петровский В.И. След летящей птицы. Природа, 1979, № 5, с. 102.
23. Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. 4.1. М.: Мир. 1981, с. 17, 419.
24. Монин А.С., Жихарев Г.М. Океанские вихри. УФН. Т. 160, № 5, 1990 с. 16
25. Раутиан Т.Г. Очаговые спектры ускорения подкоровых землетрясений Памиро-Гиндукуша. Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 27. М.: Наука. 1986, с.22.
26. Раутиан Т.Г. Большое Толбачинское извержение. Камчатка, 1975 – 1976. М.: Наука. 1984.

27. Савченко В.Н., Смагин В.П., Шадрин Ю.Н. Электромагнитные вариации морского волнения. Владивосток: ДВГУ, 1985. с. 35-39, 168.
28. Садовский М.А. О значении и смысле дискретности в геофизике.// В сб. Дискретные свойства геофизической среды М.: Наука. 1989, с.5.
29. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М.: Мир. 1980. 549 с.
30. Томпсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
31. Финк М.Р. Оценка методов расчёта шума планера самолёта. // В сб. Аэрогидромеханический шум в технике. М.: Мир, 1980. с. 144-146.
32. Цветков О.В., Дегтярёв Г.М., Смирнова Е.П. Вариант модели Ходжкина – Хаксли с сокращённым числом параметров. // Биофизика. 1998, т. 43, вып.1, с. 109.
33. Цветков О.В., Дегтярёв Г.М. Информационный инвариант открытых динамических систем.// В сб. статей «Большой взрыв: сказка или реальность?» СПб.: «Астерион», 2006, с. 106-112.