

САМООРГАНИЗАЦИЯ НООСФЕРЫ КАК ВЫСШИЙ ПОРЯДОК ИНФОРМАЦИОННО-ПОЛЕВОЙ ДОМИНАНТЫ

— это действие качества времени-дления и вероятностного хаоса. Роль же последней в возникновении живого мира и структурировании биообъектов двоякая (рис. 1): во-первых, сама эволюция есть продукт процесса самоорганизации; во-вторых, на локальном иерархическом уровне самоорганизация суть движущая и организующая сила структурирования организмов и поддержания их жизнедеятельности.

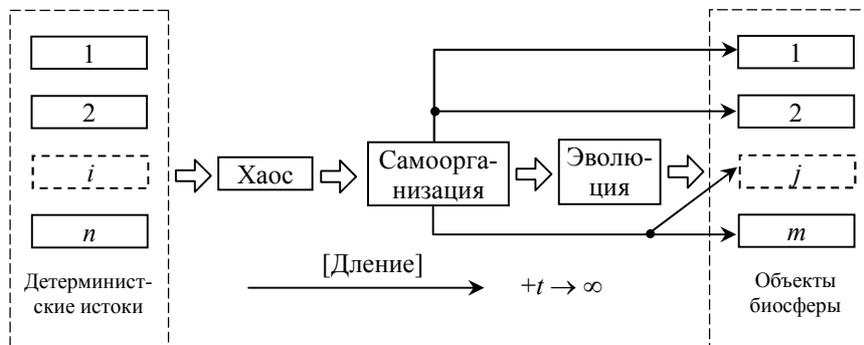


Рис. 1. Роль самоорганизации в возникновении живого мира и структурировании объектов биосферы-ноосферы

Вероятностный хаос возникает из детерминистских истоков и в своем длении приводит к самоорганизации.

Феномен самоорганизации одинаково присущ неживому (косному) и живому мирам, но роль его возрастает по мере усложнения систем: косное вещество → химические процессы → живой мир. Именно поэтому первые научные факты самоорганизации были установлены для химических процессов — известная реакция Белоусова-Жаботинского.

Накопленный к настоящему времени объем знаний о системной организации живого позволяет вплотную подойти к определению информационно-полевой самоорганизации биосистем; на наш взгляд — наиболее существенного аспекта в познании принципов физики живого.

Физическая структура живого. В современном определении биообъекта как системы обычно используются определения: самоорганизация, открытость, нелинейность, синергетичность и пр. Схема физической организации биообъекта, приведенная на рис. 2, учитывает все основные опре-

деления живого и связи внутри структуры, а также между биообъектом и внешней средой.

Рассматривая организм как систему, материальное образование, выделим прежде всего его вещественное содержание, которое будем называть, опуская грамматические кавычки, вещественным каркасом. Как и в неживой природе, здесь вещественное содержание дополняется полевым, несущим информационную нагрузку; назовем его информационно-полевым каркасом. Такая (взаимодополняющая) двойственность представления является онтологичной сущности любой многокомпонентной, многочастичной — говоря языком квантовой механики, системы, где поле суть информационно-энергетическая «связка» всех компонентов системы, позволяющая определить целостность системы.

Интуиция подсказывает, что эти две фундаментальные характеристики живого, как системы, должны быть дополнены генотипом и фенотипом; первое определяет *a priori* архитектонику биосистемы, второе — приобретаемую специфику, отличительные особенности конкретного организма. Достаточно грубая, но аналогия с технической системой: первое — ее конструкция и принцип функционирования, второе же — индивидуальность системы в ряду аналогичных, определяемая реальной вариацией технологии и условиями эксплуатации.

Четыре названных характеристики на приемлемом уровне абстрагирования определяют биообъект как систему в самой общей, но и самодостаточной формулировке.

Развитие и существование вещественного каркаса в основном поддерживается биохимическими процессами и клеточной дифференцировкой, а в отношении информационно-полевого каркаса то же самое можно сказать о биофизических процессах; это отражено в символическом расположении на рис. 2 соответствующих обозначений, хотя, конечно, ни о каком строгом разграничении и речи идти не может.

Собственно вещественный каркас организма образован совокупностью клеток и водного матрикса, заполняющего межклеточное пространство. Наконец, в качестве основной полевой характеристики введем функцию $\varphi(x, y, z, t)$ — нелокальный самосогласованный потенциал по терминологии школы С. П. Ситько. Спецификой потенциальной функции в применении к биосистеме полагаем введение параметра времени, учитывая, что физическое и биологическое время является параметром всех, без исключения, процессов жизнедеятельности.

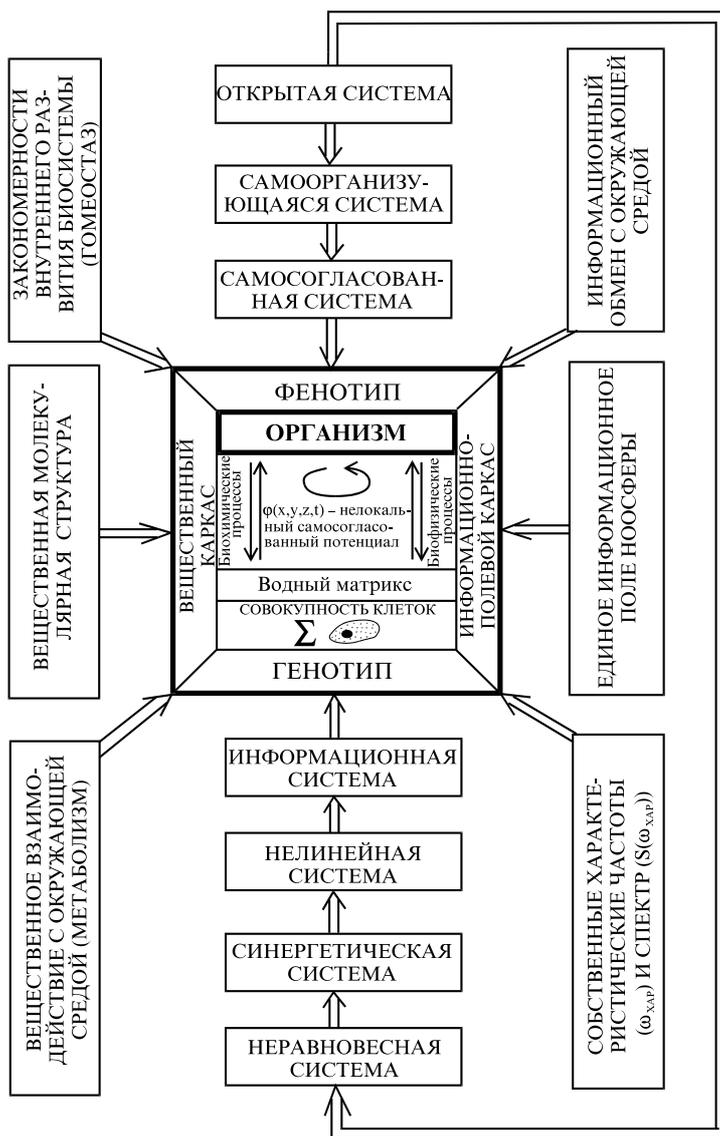


Рис. 2. Схема физической организации биообъекта

Теперь рассмотрим интегративные системные характеристики организма. Прежде всего, это система открытая, поскольку каждый организм есть всего лишь составляющая биосферы, а в отношении *homo sapiens* речь идет уже о вхождении в ноосферу. Два важнейших фактора открытости биосистемы: вещественное взаимодействие с окружающей средой — метаболизм и информационный обмен с окружающей средой; последнее является наиболее наглядным.

Из факта открытости вытекает качество самоорганизации биосистемы, то есть ее способности к стабилизации базовых параметров посредством упорядочения различных отношений внутри системы, причем эта упорядоченная направленность должна противостоять увеличению энтропии среды нахождения системы. Другими словами, самоорганизация адекватна приспособлению биосистемы к среде жизнедеятельности. Из этого качества следует и самосогласованность биосистемы, то есть ее целостная организация, подчиняющаяся закономерностям внутреннего развития биосистемы — гомеостазу.

Другая группа интегративных системных характеристик организма определяется его качеством неравновесности, прежде всего понимаемой как системная термодинамическая неравновесность в определении И. Пригожина. В свою очередь, неравновесность биосистемы вытекает из ее открытости.

Неравновесность биосистемы предполагает многостепенную неустойчивость, поскольку открытая самоорганизующаяся система в своем функционировании подчиняется законам синергетики, то есть работы без энергетического «запаса прочности» — закон минимизации энергозатрат на функционирование сложных систем. А уже из синергетичности биосистемы совершенно естественно вытекает ее нелинейность. Реальная нелинейность есть результат участия любого элемента системы в создании и поддержании ее целостности. То есть, если в линейной системе действует принцип суперпозиции (наложения) и своего рода детерминирование элементов в организационном, структурообразующем плане, то в нелинейной господствует принцип самосогласования. Процесс жизнедеятельности биосистемы определяется совокупной работой его органов и систем. В организме каждый орган, каждая система выполняет свои функции по обеспечению жизнедеятельности, однако между ними задействована сложнейшая система положительных и отрицательных обратных связей по биофизическим и биохимическим каналам, что свидетельствует о выраженной нелинейности.

Однако чем выше нелинейность системы, тем богаче ее информационное содержание; таким образом, в цепи последовательных определений биосистемы приходим к ее определению как информационной системы.

Дадим еще несколько характеристических определений биосистемы, относящихся к вещественному и информационному каркасам. Основой первого является вещественная молекулярная структура. Основой же второго полагаем единое информационное поле ноосферы. Полевая компонента характеризуется, как говорилось выше, нелокальным самосогласованным потенциалом $\varphi(x,y,z,t)$, внешние (регистрируемые) параметры которого суть собственно характеристические частоты ($\omega_{\text{хар}}$) и спектральная характеристика $S(\omega_{\text{хар}})$.

Вкратце рассмотренная физическая структура живого позволяет более осмысленно анализировать вопросы информационно-полевой самоорганизации биосистем.

Общие принципы самоорганизации биосистем и роль информации.

Дополним данное выше общее определение самоорганизации. В понятии самоорганизации естественным образом выделяются два основных момента: а) кибернетический механизм собственно процесса самоорганизации; б) «энтропийный контроль», как базовый критерий, стимулятор или, наоборот, замедлитель процессов самоорганизации.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что процесс самоорганизации, его онтологическая сущность состоит в поддержании более устойчивых форм организации материи на фоне менее устойчивых, а значит и менее отвечающих целевому направлению эволюции, своего рода тупиковых ее ходов.

Самоорганизация сложных систем возможна только в условиях квазустойчивости на грани бифуркационного срыва; именно такое состояние отвечает минимально возможной энтропии; ибо стабильность, равновесие есть резкое возрастание энтропии.

Кроме кибернетического и синергетического аспектов, в процессах и сущности самоорганизации в живом мире важную роль играют качества нелинейности и цикличности.

Теперь рассмотрим вопрос о роли информации в процессах нелинейности, синергетики и цикличности самоорганизации в живом мире. Цикличность развития биосистем определяется хронобиологическими процессами развития живого мира, а естественные жизненные циклы напрямую связаны (и закольцованы системой обратных связей) с энергетикой систем и их информационным содержанием.

В свою очередь, иерархическая упорядоченность и энергонасыщенность биосистем, согласно И. Пригожину, возрастает в ходе онтогенеза до некоторого предельного порога в зрелом возрасте, чему сопутствует и возрастание информации в биосистеме. В период наибольшей жизнедеятельности упоря-

доченность пространственно-временной организации биосистемы возможна только при наличии высокой энергонасыщенности и минимально возможной энтропии. Энтропия же суть мера количества информации, обратная ей величина. Таким образом, информационный показатель есть своего рода универсум, характеризующий процесс самоорганизации и достигающий своего максимума для системы, находящейся — в каждом из чередующихся циклов развития — в неравновесном, нелинейном фазисе строгой пространственно-временной организации. Этим сказано все или почти все о роли информации в процессах самоорганизации материального мира.

Однако рассмотрение связи самоорганизации и информации в биосистеме, как только что было определено, возможно только в триединстве с понятием энтропии.

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 3, иллюстрирующую взаимосвязь биообъекта и внешней среды (среды обитания) в структуре открытой системы. Эта связь суть система положительных и отрицательных обратных связей, причем целенаправленное и несанкционированное воздействие биообъекта (здесь речь уже идет о *homo sapiens* по-преимуществу) на внешнюю среду и саногенное и патогенное воздействие последней на организм образуют замкнутый контур управления. Другие основные связи — теплообмен, обмен иными формами энергии, веществом и информацией — дополняют контурную систему и обеспечивают биосферный и ноосферный баланс; в рассматриваемом нами аспекте это означает выполнение закона сохранения суммы информации и энтропии для открытой системы

$$I + S = \text{const}, \quad (1)$$

Из двух классических определений информации, данных К. Шенноном, для описания открытых систем более подходит определение информации об объекте X относительно Y (и наоборот), где $f(X, Y)$ есть функция распределения двойного набора переменных рассматриваемой системы. При этом информация определяется разностью безусловной и условной энтропий, то есть тем самым связана с изменением степени неопределенности в состоянии рассматриваемой системы.

Как следует из схемы на рис. 3, открытая система (биообъект) обменивается с внешней средой энергией, веществом (метаболические процессы) и информацией. В результате такого обмена в открытой системе образуются диссипативные структуры, как их определил И. Пригожин; последние для макроскопических объектов (биообъектов) подразделяются на временные, пространственные и пространственно-временные. Рассмотрим последние на уровне внутриорганизменного обмена информацией (рис. 4). Данный процесс есть кооперативное явление, поскольку диссипативные структуры в биообмене образуются в совокупности коллективных взаимодействий

множества клеток, которые (то есть взаимодействия) формируют процессы самоорганизации, будучи сами неравновесными фазовыми явлениями. Полагая носителем клеточной и межклеточной информации $I(i, j)$ электромагнитное поле, под этими явлениями подразумеваем неравновесную компоненту собственного клеточного ЭМП.

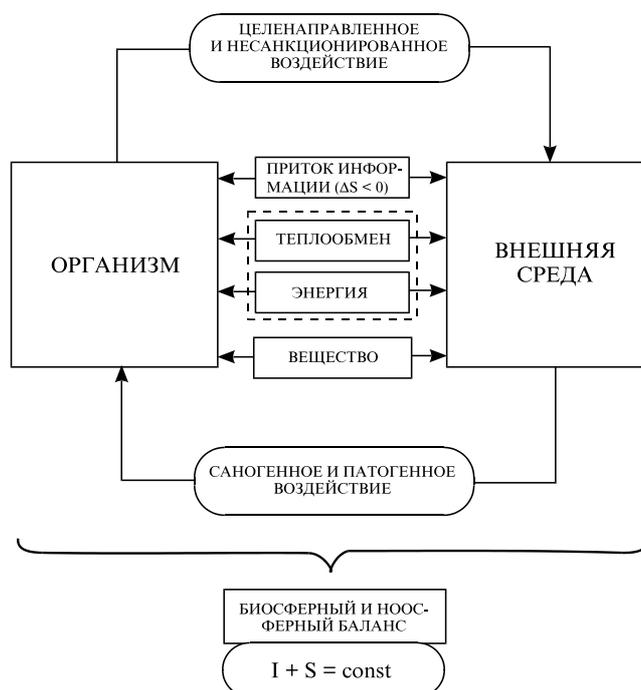


Рис. 3. Организм и внешняя среда в структуре открытой системы

Собственно передача информации подразделяется на межклеточную и между органами и системами, причем в биообъекте предусмотрена сложная система дублирования и резервирования на различных уровнях: на микроскопическом — химическими реакциями, макроскопическом — ЭМП с параметрами $\varphi(x, y, z, t)$ и $S(\omega_{\text{хар}})$ и «смешанном» — с движущимися клетками, например, крови. Соответствующие этим процессам диссипативные структуры также есть сочетание всех трех названных выше классов с преобладанием, однако, пространственно-временных (на рис. 4 схема до-

полнена двумя гипотетическими механизмами). Еще раз подчеркнем, что макроscopicкую биосистему мы рассматриваем как *непрерывную* среду; это тем важнее, что физические и биологические среды различаются в информационном отношении, тем более для открытых систем.

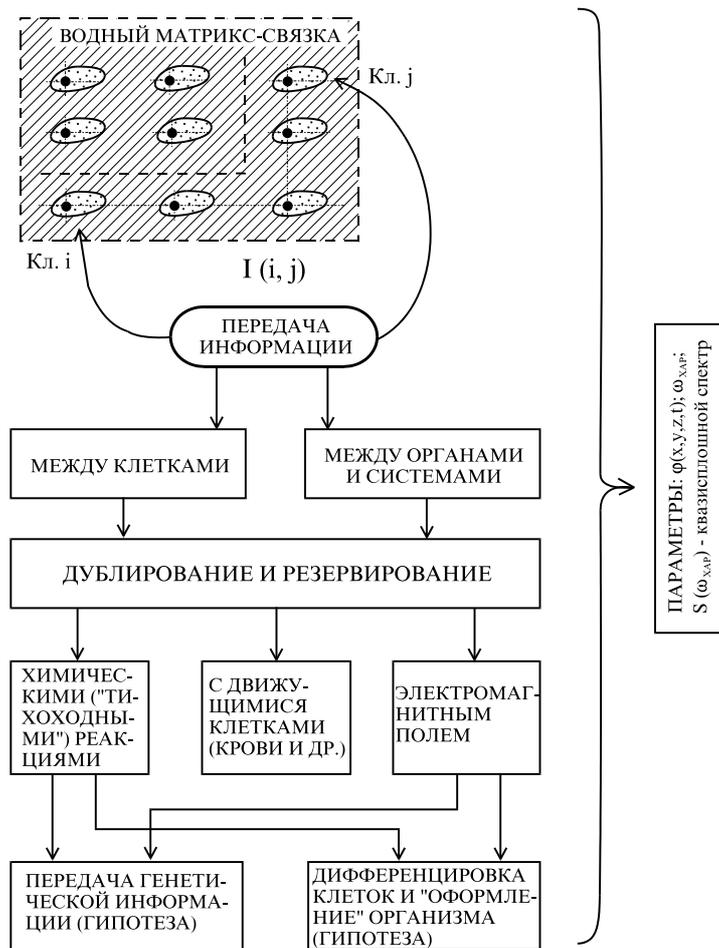


Рис. 4. Схема диссипации в биообъекте на уровне внутриорганизменного обмена информацией

Информация самоорганизующихся биологических открытых систем и «энергоемкость» информационных процессов. Из двух статистических определений информации (S -информации — обобщения определения энтропии Больцмана и информации Шеннона) открытых систем наиболее адекватной является вторая, ибо на основании ее определения может быть строго обосновано соотношение (1).

Информация по Шеннону определяется как разность энтропии Больцмана-Шеннона (безусловной) и условной энтропии:

$$I[X, Y] = S[X] - S[X|Y], \quad (2)$$

где

$$S[X] = - \int f(X) \ln f(X) dX,$$

$$S[X|Y] = - \int f(X, Y) \ln f(X | Y) dXdY,$$

$f(X|Y)$ — условная функция распределения.

Из соотношения (2) вытекает и закон (1), а функция $I[X, Y]$ характеризует информацию по двойному набору переменных. Ю. Л. Климонтовичем получено общее выражение для корреляционной информации:

$$I[X|a] \equiv \int f(X|a) \ln f(X|a) dX + S[X], \quad (3)$$

в котором определена информация о совокупности X при заданном значении управляющих параметров a . Таким образом, вариант записи (3) позволяет представить шенноновскую информацию как функцию некоторых управляющих параметров, что наиболее полно и адекватно характеризует открытую систему. Однако для правомочности (3) вводится дополнительное условие для обеспечения выполнения неравенства $I[X|a] \geq 0$; последнее достигается с использованием функционала Ляпунова A_S .

Наличие достаточно строго доказанных соотношений (1)—(3) тем не менее не позволяет количественно оценить информацию открытой системы, биосистемы тем более, аналитическим (расчетным) методом, ибо для этого надо знать математическую модель процесса, что нереально для сложнейших биосистем. Остается экспериментальная оценка с учетом того объяснимого факта, что при переходе к более упорядоченному состоянию от «начального» состояния хаоса (в идеальной модели процесса) энтропия уменьшается и возникает избыточная информация. В выражении (3) это соответствует приращению управляющего параметра $a = a_0 + \delta a$, где a_0 — параметр состояния хаоса.

Отсюда следует и тот важный для нашей темы вывод, что переход от хаоса к упорядоченному состоянию суть процесс самоорганизации; по И. Пригожину — возникновение временной диссипативной структуры. А

согласно закону (1) и соотношению (уравнению) (3) это есть возрастание информационного содержания системы, то есть перехода ее от равновесного к неравновесному состоянию. Согласно И. Пригожину, явление самоорганизации есть следствие необратимых неравновесных (термодинамических) процессов.

Для биосистем, хотя они также и несомненно относятся к классу открытых систем, диапазон изменения параметра a в (3) таков, что закон (1) выполняется при различных (но не экстремальных!) сочетаниях хаоса и упорядочения — в зависимости от степени самоорганизации организма, то есть степени его патологии и здоровья.

Конкретизируя связь информационного содержания биосистемы с процессами ее самоорганизации, определим ее энергетические характеристики; в конце концов информационные процессы в живом (ровно как и в неживом) веществе обязаны своим существованием энергетическому базису, в биосистеме — превращению свободной энергии. Здесь мы наблюдаем полную аналогию с квантовыми открытыми системами, где информация определяется разностью свободных энергий, что эквивалентно разности энтропий (2).

Если функционал Ляпунова A_S определяет разность энтропий равновесного и неравновесного состояний системы, то функция распределения энергии $f(E, t)$ в системе описывается уравнением Фоккера-Планка

$$\frac{\partial f}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial E} \left(E \frac{\partial f}{\partial E} \right) + \frac{\partial}{\partial E} [(-\alpha + \beta E) E f], \quad (4)$$

где D — интенсивность шума в системе (сравни с обоснованием «перекачки энергии» в шумовом спектре биосистемы); $\alpha = \alpha_f - \gamma$, α_f — параметр обратной связи в системе; γ и β — соответственно коэффициенты линейного и нелинейного «сопротивления» системы.

Стационарное решение для (4) $f_0(E)$ имеет вид экспоненциальной функции от F_0 и S_0 — соответственно свободной энергии и энтропии, и эффективной функции Гамильтона $H(E)$, где

$$F_0 = \langle H(E) \rangle_0 - DS_0, \quad (5)$$

а величина D эквивалентна эффективной температуре (в нашем случае) биосистемы.

Из соотношений (4), (5) следует, что в открытой системе при временной эволюции при заданной величине D средняя энергия системы не сохраняется, что, учитывая естественную связь между свободной энергией, энтропией и информацией открытой системы, позволяет говорить о «жесткой» функциональной связи информационного содержания системы и энергии, затрачиваемой на ее образование, сохранение и передачу (обмен).

С учетом закона сохранения суммы энтропии и информации для открытой системы (1), можно сформулировать для неравновесной системы закон сохранения разности свободной энергии и информации в процессе временной эволюции, причем *эта разность* определяется самой величиной свободной энергии и возрастает при росте сложности системы, а значит и степени ее неравновесности. Понятно, что для биосистемы она значительна, что, в свою очередь, позволяет говорить о значительной энергоемкости биоинформации, причем энергетическим базисом является именно свободная энергия, но никак не общая (суммарная) энергия биосистемы, которая (по принципу синергизма) всегда является минимально достаточной.

Отсюда можно сделать тот важный вывод, что при нарушении нормально функционирования организма (патологии) наступает своего рода «разбаланс» системы, увеличивается ее энтропия, при этом, согласно закону (1), уменьшается информационное содержание, а отсюда, следуя закону эволюционного сохранения разности свободной энергии F и информации I

$$F - I = \text{const}\{F\}, \quad (6)$$

свободная энергия биосистемы должна возрастать, что активизирует биофизические и биохимические процессы, приводящие, в конечном счете, к устранению патологии.

То же самое относится и к внутриорганизменной передаче информации, а также ее обмену между организмом и внешней средой. По аналогии с техническими системами затраты энергии связаны с поддержанием канала передачи информации, то есть обеспечением потребной пропускной способности канала; последняя напрямую связана с шенноновской информацией и термодинамической температурой.

Электромагнитная полевая самоорганизация биосистемы проиллюстрирована на рис. 5. Исходным моментом может рассматриваться осцилляция клеточного диполя, параметры которого и характеристики иницируемого клеточного ЭМП, тесно и дуалистично связанного с акустоэлектрическими колебаниями, определены. Таким образом, клеточное ЭМП $\{\vec{E}_{кл}, \vec{H}_{кл}\}$ характеризуется детерминированными частотой $\omega_{кл}$ и энергией $F_{кл}$.

Соседние клетки, то есть агрегация или ансамбль клеток, характеризуются некоторым самосогласованным ЭМП с локальным временным потенциалом $\varphi'(x', y', z', t')$ Именно последний на уровне агрегации придает суперпозиционному хаосу — ввиду реальной расфазировки клеточных ЭМП, то есть практическому «нулевому» полю агрегации — когерентный характер.

Здесь ансамбль или агрегацию не следует понимать как нечто дискретно-геометрически определенное, то есть стабильную совокупность N -кле-

ток, с которой соседствуют другие совокупности M -, L -, ... клеток. Имеется в виду динамически преходящая агрегация, то есть та их геометрически не определенная совокупность, которая в каждый текущий момент времени t' фиксируется перемещающимся наблюдателем — в терминах теории относительности.

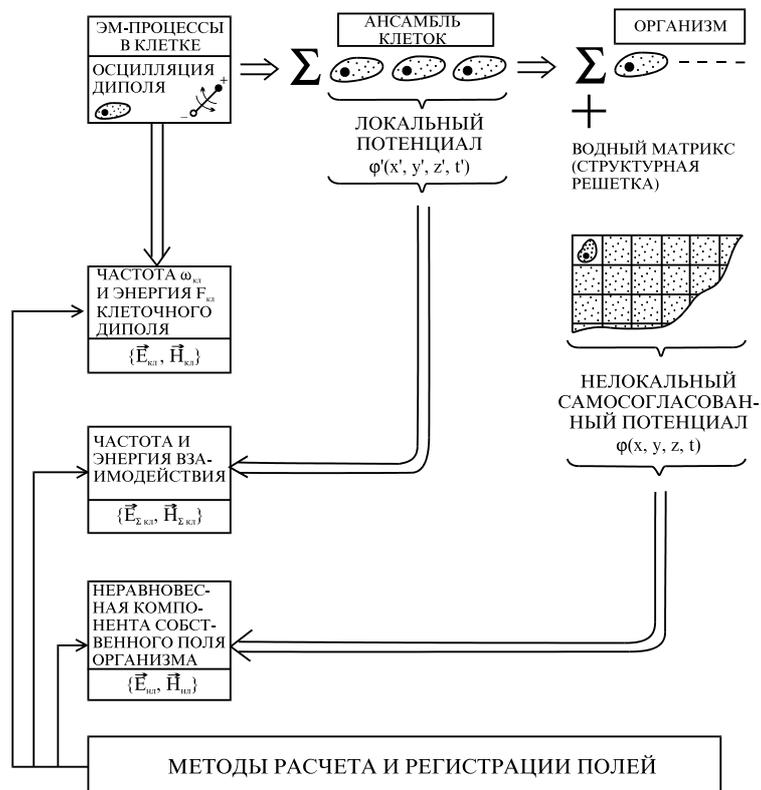


Рис. 5. Электромагнитная полевая самоорганизация биосистемы

Суммарное, то есть когерентное ЭМП ансамбля клеток $\{\vec{E}_{\Sigma кл}, \vec{H}_{\Sigma кл}\}$ также будет характеризоваться детерминированными частотой и энергией взаимодействия; мера последней определяется действием локального потенциала $\varphi(x', y', z', t')$ и степенью достижимой когерентности локально-суммарного поля.

Наконец, третий и высший — в рамках организма — уровень полевой самоорганизации биосистемы имеет вещественным базисом структуру целостного организма; ее мы представляем моделью «китайской стены», то есть совокупностью всех клеток организма, межклеточный водный матрикс которого образует структурную решетку.

Нелокальный самосогласованный потенциал целостного организма $\varphi(x, y, z, t)$ формируется как геометрическое $\Delta(x', y', z')$ и временное $\Delta t'$ распространение «зоны когерентности» на весь организм (рис. 6), причем, как уже было пояснено выше, это распространение идет не от какого-то единичного центра когерентности, как упрощенно показано на рис. 6, а от каждой клетки биосистемы; аналогия с кристаллизацией — превращением в лед воды. Кстати и в нашем случае роль водного матрикса в процессах полевой самоорганизации самоочевидна. Математическую же модель роста зоны когерентности в плоскости сечения организма (x, y) можно представить в нулевом приближении фрактальной формулой Мандельброта $z = z^2 + C$, где z — комплексная переменная; C — динамически изменяющийся коэффициент.

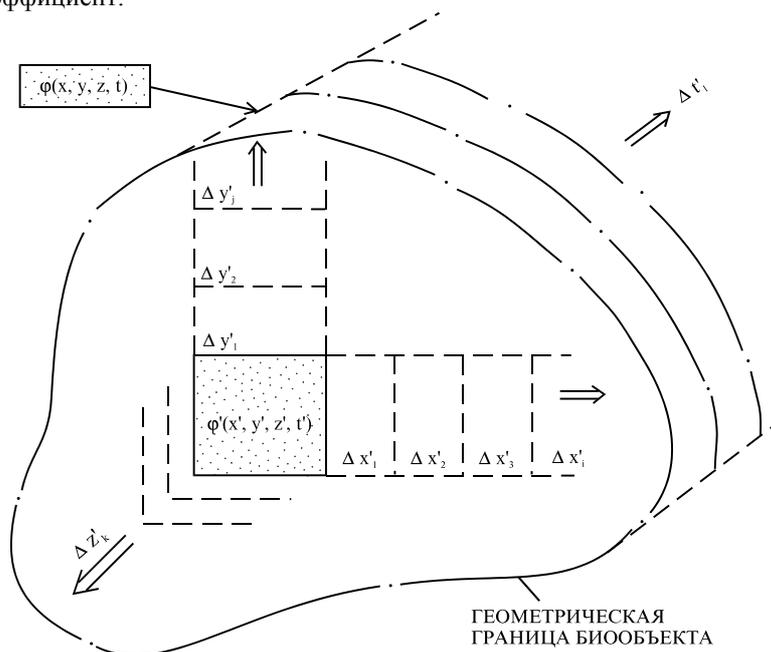


Рис. 6. К формированию нелокального самосогласованного потенциала биосистемы

С потенциалом $\varphi(x, y, z, t)$ связана основная полевая характеристика целостного организма — неравновесная компонента собственного поля организма $\{\vec{E}_{нл}, \vec{H}_{нл}\}$. Отдельный вопрос, связанный с достоверностью названных полей,— методы расчета и инструментальной регистрации их — подробно рассмотрен С. П. Ситько.

Таким образом, полевая иерархическая организация биосистемы отвечает основному принципу самоорганизации, то есть наличие нелокального самосогласованного потенциала, действие которого проявляется в сложной, но тесно взаимосвязанной конструкции ЭМП, создает наиболее устойчивую форму организации биосистемы, позволяющей ей функционировать как целостному организму на фоне окружающей среды и в неразрывном единстве с ней. При этом полевая системная организация является открытой, синергичной, нелинейной, неравновесной.

Лит. Яшин А. А. Живая материя: Онтогенез жизни и эволюционная биология / предисловие В. П. Казначеева.— М.: Изд-во ЛКИ / URSS, 2007.— 240 с. (2-ое издание в 2010); *Ситько С. П., Мкртчян Л. Н.* Введение в квантовую медицину.— Кив: «ПАТТЕРН», 1994.— 145 с.; *Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного. Введение: Пер. с англ.— М.: Мир, 1990.— 344 с.; *Климонтович Ю. Л.* Энтропия и информация сложных систем // Успехи физических наук.— 1999.— Т. 169, № 4.— С. 443—452; *Хакен Г.* Информация и саморегуляция. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ.— М.: Ком Книга / URSS, 2005.— 248 с.