

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

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

Георг Вильгельм Фридрих Гегель

№ 3 (44), 2022

В НОМЕРЕ:

В статье рассматривается зарождение и изменения полового процесса как генетического обмена между клетками, имеющими общую основу в химических свойствах ДНК *in vitro* (денатурация и последующая ренатурация).

Рассмотрены основные направления в исследовании сложных систем.

Представлен обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»

Рассмотрены сокращающиеся циклы в сложности от биотической эволюции до социально-экономической



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

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Июль – Сентябрь

№ 3 (44), 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 20.09.2022. Подписано в печать 27.09.2022. 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; e-mail: 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

Голиченков В.А., Бурлакова О.В., Всеволодов Э.Б., Голиченков М.В., Доронин М.Б., Супруненко Е.А., Пол и половой процесс **4**

Иванов О.П. Введение в системное мировидение **19**

Новые идеи, подходы

Иванов О.П. Обзор работ Г.А. Заварзина по теме «Глобальная роль микробы в экзогенной истории земли» **47**

Эксперименты, открытия, практика

Фомин А.А. Сокращающиеся циклы в сложности от биотической эволюции до социально-экономической **66**

CONTENTS

Basic researches

Golichenkov V.A., Burlakova O.V, Vsevolodov E.B., Golichenkov M.V., Suprunenko E.A., M.B Doronin Sex and sexual process **4**

Ivanov O.P. The formation of the system world and its consequences **19**

New ideas, approaches

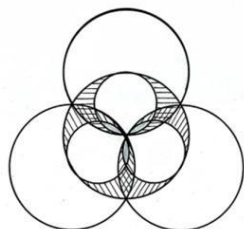
Ivanov O.P. Review of G.A. Zavarzin's works on the topic «the global role of microbiota in the exogenous history of the earth» **47**

Experiments, discoveries, practice

Fomin A.A. Reducing cycles in complexity from biotic to socio-economic evolution **66**

УДК 573.22: 573.7

ПОЛ И ПОЛОВОЙ ПРОЦЕСС



Голиченков В.А.¹, Бурлакова О.В.¹, Всеволодов² Э.Б.,
Голиченков М.В.³, Доронин М.Б. ¹, Ю.К., Супруненко Е.А. ¹

¹Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ;

²Казахский национальный университет им. аль Фараби, г. Алматы,
Республика Казахстан;

³Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ

Аннотация. В статье рассматривается зарождение и изменения полового процесса как генетического обмена между клетками, имеющими общую основу в химических свойствах ДНК *in vitro* (денатурация и последующая ренатурация). Прослеживается упорядочивание полового процесса через создание универсальных механизмов размножения через митоз и мейоз при возникновении эукариот. Отмечается, что с появлением мейоза возникла облигатная связь между половым процессом и размножением, что привело к появлению полового (постмейотического) размножения. Однако, наряду с этим среди высокоорганизованных многоклеточных организмов оказался возможным возврат к половому процессу как горизонтальному переносу с включением чужеродных генов при экстремальных условиях существования. Дальнейшим гарантированным обеспечением полового размножения на организменном уровне явилось возникновение полов как носителей специфических половых клеток и процесса оплодотворения (восстановления диплоидности). Эпигамный импринтинг при гаметогенезе млекопитающих стал важнейшим эволюционной достигнутым механизмом, обеспечивающим облигатную двуполость при размножении у млекопитающих.

Ключевые слова: половой процесс, мейоз, мейотическая рекомбинация

«Настоящей сущностью пола является мейотическая рекомбинация»

Vileneuve A., Hillers K.J.

Половой процесс, наряду с процессом размножения является важнейшим и неотъемлемым свойством жизни и, вероятно, ее ровесником на Земле. Посредством полового

процесса осуществляется обмен геномами между организмами. Измененные геномы затем передаются потомкам в процессе размножения. Половой процесс представляет собой рекомбинацию генов у генетически неидентичных организмов. В указанном смысле половой

Пол и половой процесс

процесс есть уже у прокариот [4,21]. У них существует ряд способов обогащения генома.

ДНК, необходимая для жизнедеятельности у бактерий представлена у них одной молекулой. Эта молекула, имеющая форму ковалентно замкнутого кольца, получила название бактериальной хромосомы (нуклеоида). Кроме того, в клетках прокариот ДНК может находиться и вне бактериальной хромосомы в т.н. плаزمидах. Плазмиды, внехромосомные элементы, представляют собой кольцевые ковалентно замкнутые молекулы ДНК и не являются обязательными компонентами каждой бактериальной клетки.

Выделяют следующие типы процессов, приводящих к рекомбинации генетического материала у прокариот:

1. Конъюгация – это процесс переноса части ДНК хромосомы из одной клетки в другую при их непосредственном контакте. При контакте клетки соединяются специальными выростами клеточной оболочки – пилиями, и по ним, как по цитомембранному каналу, происходит направленный перенос части генетического материала из клетки-донора в клетку-реципиент. Перенесенная ДНК находит гомологичные участки ДНК реципиента. Вследствие такого частичного переноса образуется неполная зигота или мерозигота - диплоидизируется только часть генома благодаря перенесенной ДНК донора. В результате часть ДНК донора замещает участки ДНК реципиента, а исключенные участки метаболизируются или удаляются из клетки.

2. Трансформация – это изменение свойств бактериальной клетки под влиянием ДНК, выделенной другой клеткой. Цитологически это процесс захвата ДНК из внешней среды клеткой бактерии. Захваченная ДНК, попадая в клетку, реципрокно замещает гомологичные участки генома клетки. Но в случае трансформации не требуется непосредственного контакта клеток. Способность ДНК проникать в клетку–реципиент зависит как от природы самой ДНК, так и от физиологического состояния клетки-реципиента. Трансформирующими могут быть только высокомолекулярные двуцепочечные фрагменты ДНК. При этом, проникать в бактериальную клетку может ДНК, выделенная из разных источников, но включаться - только ДНК определенной степени гомологичности. После проникновения экзогенного компонента ДНК в клетку он находит гомологичный компонент в ДНК клетки и между ними происходит генетический обмен, подобный тому, который имеет место на последних этапах конъюгации.

3. Трансдукция – это специфический для бактерий способ обмена генетической информацией с помощью бактериофагов. ДНК бактериофагов может встраиваться в ДНК бактерий. Трансдукция становится возможной, когда в процессе размножения фагов одна из его частиц захватывает фрагмент бактериальной хромосомы, как правило, содержащий очень небольшое число генов. Когда такая фаговая частица заражает бактериальную клетку, бактериальная

ДНК в составе частицы проникает в клетку-реципиент. Между занесенной ДНК и гомологичным участком ДНК хромосомы хозяина может произойти реципрокный обмен. То есть в возникшем рекомбинанте появится участок ДНК, принесенный фагом. Такая передача признаков с помощью фагов показана для бактерий, принадлежащих к разным родам. Перенос генетического материала, при котором преодолеваются межвидовые, и даже межродовые различия называется горизонтальным переносом. Горизонтальный перенос может осуществляться и с помощью плазмид - небольших молекул ДНК, физически обособленных от хромосом и способных к автономной репликации, которые встречаются, главным образом, у бактерий, архей грибов и высших растений, и чаще всего представляют собой двуцепочечные кольцевые молекулы.

Если конъюгация условно может быть признана эволюционным предшественником полового процесса у эукариот, то другие варианты ДНК обмена у них являются примерами горизонтального переноса генетического материала, в т.ч. и от неродственных форм.

Вертикальная передача (передача следующему поколению) измененных половым процессом генома прокариот, у которых отсутствует митоз, происходит вне регулярной связи с половым процессом и носит стохастический характер.

Появление эукариот на эволюционной арене стало ароморфным процессом и предопределило весь дальнейший ход эволюции [1,6,9,10]. Согласно представлениям симбиогенеза, эукариотная клетка возникла на «элементной базе» прокариот, и у прокариот были найдены важнейшие конструкции, вовлеченные в создание эукариотной клетки [25]. Уже одноклеточные эукариоты приобрели все основные элементы процессов развития, характерные и для многоклеточных. Это контролируемый по месту и по времени синтез белков, структура генов и хромосом, характерная для эукариот и хода их эволюции [8,12]. С появлением эукариот произошли изменения в цитологии и цитофизиологии клеток, которые упорядочили и гарантировали связь между половым процессом и размножением. Возникли два способа размножения – митоз и мейоз. Митоз гарантировано передавал потомку геном материнской клетки в неизменном виде. Мейоз, как способ клеточного деления, уже включал в себя обязательный генетический обмен между гомологичными хромосомами, приводя одновременно к уменьшению вдвое их числа. В мейоз вступали диплоидные клетки, а выходили из него гаплоидные (гаплоидные), да еще с модифицированными предшествующей конъюгацией хромосомами (половой процесс). Если далее после мейоза клетки приступали к размножению, то их гаплоидные потомки имели гаплоидные ядра, уже модифицированные мейозом.

Мейоз стал важным эволюционно успешным обретением эукариот. Он явился тем «перспективным стандартом» (по определению известного эволюциониста-энтомолога

Пол и половой процесс

Александра Борисовича Ланге), созданным на базе «архаического разнообразия» у прокариот, который обеспечил дальнейший эволюционный прогресс. Исследование мейоза на широком круге объектов от дрожжей до млекопитающих, обнаруживает высокий консерватизм ключевых генов и белков, ответственных за реконструкцию хромосом в мейозе [1]. Как и у простейших, мейотическая рекомбинация начинается у всех изученных организмов с генетически запрограммированных многочисленных двунитевых разрывов ДНК специфическими для мейоза эндонуклеазами, которые кодируются специфическими генами [21,22,29]. Большая часть двунитевых разрывов репарируется с сохранением исходной последовательности нуклеотидов. Меньшая их часть замещается на сестринские или несестринские участки ДНК в составе хроматид хромосом-конъюгантов. Процесс обмена с несестринской хроматидой называется кроссинговером. Обмен между любыми хроматидами идет на основе гомологичной рекомбинации, при которой сестринская и несестринская молекулы ДНК служат матрицами для ликвидации разрыва [31]. Выбор между кроссоверными и некроссоверными вариантами репарации осуществляется сразу в ходе ликвидации предварительно расширенного двунитевого разрыва [14,19]. Это происходит с помощью миграции однонитевого конца разрезанной ДНК в гомологичную молекулу и денатурацию двойной спирали в гомологичном сайте реципиентной молекулы ДНК. Этот процесс называется образованием смещающейся петли. Белки в репарации и рекомбинации ДНК – это ферменты, медиаторы и адаптеры, работающие под контролем мейозспецифических генов[1].

Функция редукции хромосом в мейозе имеет гомологичный «прообраз» у прокариот. Все прокариоты гаплоидны, и набор их генов локализован в одной хромосоме. Однако, в экспоненциально растущей культуре количество ДНК на клетку может кратно возрасти под влиянием температуры, кислотности, ионизирующего излучения и других факторов среды. Происходит образование копий хромосом, и достигается 3, 4, 8 и более хромосом на клетку. По устранению воздействий после перехода культуры в стационарную фазу гаплоидность в клетках, как правило, восстанавливается. Прокариоты, как бы уже следуют эволюционно будущему правилу сохранения ядерно-плазматических отношений в клетках эукариот.

Важная роль в репликации и последующем разделении хромосом принадлежит мембране бактериальной клетки (цитоплазматической мембране). Процесс репликации начинается с присоединения к специфическим точкам на мембране участков ДНК. Возникающие дочерние хромосомы остаются прикрепленными к мембране. Репликация молекул ДНК происходит параллельно с синтезом мембраны в области контакта ДНК и цитоплазматической мембраны. Это приводит к разделению дочерних молекул ДНК и оформлению обособленной хромосомы [1]. Приведенный пример иллюстрирует способность уже прокариот регулировать

сегрегацию дочерних генов по дочерним клеткам и связь репликации и сегрегации геномов дочерних клеток с цитоплазматической мембраной.

Другой возможностью дальнейшего существования клеток после мейоза явилось возможность восстановления пloidности путем слияния гаплоидных потомков с образованием диплоидного ядра зиготы. В этом случае такие клетки приобрели статус половых, а сам процесс их слияния получил название оплодотворения. Таким образом, возникновение эукариот явилось великим эволюционным событием, в т.ч. закрепившим связь между половым процессом и размножением через мейоз.

Диплоидная эукариотная клетка приобретает гаплоидность в процессе мейоза. «Подсказку» к возникновению механизма редукции хромосом в мейозе эукариот дают облигатно агамные амебы *Amoeba proteus* и *A. burrekensis* [3,13]. Их способ деления можно принять за прообраз редукционного деления в мейозе. Эти диплоидные амебы размножаются митозом, но не имеют G₂ периода и сразу переходят к эндодупликации [11]. Их жизненный цикл представляет собой чередование периодов эндодупликации и диплоидизации [5,13]. Эти амебы в интерфазе и профазе выводят из ядра в цитоплазму излишний хроматин при активном участии ядерной мембраны и цитоскелета, тем самым поддерживая диплоидность и избегая полиплоидизации на этой стадии. Таким образом, они выполняют одну из функций классического мейоза [1].

Вертикальный перенос с сохранением родовых черт обеспечивается механизмом конвариантной репликации ДНК и у про-, и у эукариот. Этот же механизм обеспечивает репарацию поврежденной матрицы ДНК на основе неповрежденной. Вариантом такой репарации стала гомологичная рекомбинация. Способность ДНК к репарации обеспечила основное свойство жизни, основанное на ДНК. Освобождение от соединения двух гомологичных молекул ДНК после взаимного обмена сегментами (кроссинговер), оказался выгодным для комбинаторики обмена генами и, в итоге, для отбора [1,21]. Этот базовый механизм полового процесса прокариот унаследовали все эукариоты. Диплоидия стала полезным способом избежать гибели при летальных мутациях в одной из гомологичных хромосом. Важнейшая функция мейоза, а именно рекомбинация между несестринскими хромосомами, уходит корнями в процесс рекомбинации у микроорганизмов, ибо «способность молекул ДНК рекомбинировать *in vivo* унаследована эукариотами от прокариот и в ходе эволюции полового процесса стала основой для формирования мейоза» [1, стр.43].

Эукариоты, одноклеточные и многоклеточные, являют пример колоссального прогресса, давшего широчайшее разнообразие форм, вертикаль эволюционного процесса и само эволюционное древо. Общей основой такого эволюционного успеха стал мейоз и половое

Пол и половой процесс

размножение на его базе. В то же время, в эту широту возможностей эукариот оказалось включенной возможность возврата к архаичным вариантам полового процесса. У многоклеточных пример ухода от классического мейоза демонстрируют бделлоидные коловратки, живущие в суровых условиях переохлаждения, длительного голодания и пересыхания (например, в высыхающих лужах Антарктиды) [17, 28]. Выживание в таких условиях обеспечивается свойством впасть в анабиоз через способность к ангидробриозу и криобиозу. При этом они теряют подвижность, ошариваются с переднего и заднего концов, утрачивая привычную форму тела, уменьшаются в объеме, «схлопывая» внутренние полости тела, но сохраняя при этом гистологические черты неизменными. Устойчивости этих эфемерид, лишенных канонического мейоза, сопутствует кариограмма из 10-14 хромосом, которые различаются размерами, и среди которых трудно выделить гомологичные пары [26,27]. Для Bdelloidea характерен вырожденный тетраплоидный геном, очевидно, сформированный многомиллионнолетней практикой облигатного партеногенеза. В амеиотическом геноме коловраток *Adineta vaga* аллельные гены распределены блоками, которые «перетасовываются» между хромосомами. В результате возникают внутрихромосомные повторы, прямые или инвертированные. Хромосомы не имеют гомологов и не могут конъюгировать. Обычный мейоз неосуществим. Это, однако, не отвергает возможности гомологичной рекомбинации посредством парасексуального процесса [15,16] — аналога полового процесса, при котором происходит слияние вегетативных клеток, содержащих генетически разнородные ядра, возникновение гетерозиготных диплоидов за счёт слияния ядер (образование гетерокариона) и последующего митотического расщепления диплоидов, приводящее к появлению гаплоидных или диплоидных рекомбинантов (свойственно грибам и одноклеточным организмам)

Кроме того, геном коловраток *Adineta vaga* включает беспрецедентное количество (8-10%) генетического чужеродного материала бактериального, растительного и протозойного происхождения, преимущественно локализованного в субтеломерных участках хромосом наряду с мобильными элементами. У этих коловраток транскрибируется 8-10% инородных генов, большая часть которых кодирует ферменты, участвующие в процессах, несвойственных для многоклеточных. Среди них бактериальные ферменты деградации токсинов, синтеза незаменимых аминокислот, регенерации $NADPH^+$ из $NADPH$, деградации целлюлозы и других полисахаридов, фиксации углеродов из углекислого газа, синтеза эффективных антиоксидантов. Все это способствует адаптации коловраток к экстремальным условиям среды за счет такого «парасексуального» процесса. По составу чужеродных генов можно говорить, что основным источником экзогенной ДНК служит пища коловраток [18].

Каковы же механизмы попадания чужеродной ДНК в геном коловраток? Показано, что

обезвоживание коловраток сопровождается многочисленными двунитевыми разрывами ядерной ДНК. Фрагменты ДНК *Adineta vaga* обнаруживаются в течение первых суток обезвоживания и продолжают накапливаться до 84 дня ангидробиоза. Кроме того, известно, что на ранних этапах обезвоживания нарушается барьерная функция клеточных мембран, что способствует выходу фрагментов ДНК во внеклеточную среду и поступление экзогенной ДНК в клетку при последующем обводнении. Целостность ДНК быстро восстанавливается при обводнении. У коловраток, претерпевших 21-дневный ангидробиоз, количество фрагментированной ДНК заметно сокращалось через восемь часов и существенно уменьшалось через 48 ч после переноса в воду [20]. Двунитевые разрывы ДНК, сопровождающие ангидробиоз коловраток, и доступность чужеродной ДНК являются необходимыми и достаточными условиями горизонтального переноса генов [18]. Признаки горизонтального переноса генов тем вероятнее, чем суровее условия проживания – у коловраток, живущих в условиях многократного обезвоживания, этот перенос активнее, чем у живущих в непересыхающих водоемах. Приведенный пример иллюстрирует способность высокоорганизованных многоклеточных организмов возвращаться к базовому горизонтальному переносу и имманентной способности ДНК к реципрокному обмену гомологичными фрагментами. Здесь почти дословно повторяется описание событий, происходящих с молекулами ДНК при их де- и ренатурации *in vitro*: «...двухцепочечная структура молекул ДНК устойчива. Однако, под влиянием внешних факторов (t^0 , pH), и химических (например, мочевины) она может нарушаться. Полное разделение спиралей называется денатурацией. ...Разрушенная двуспиральная структура может быть восстановлена, по крайней мере, частично. Этот процесс называют ренатурацией. Ренатурация происходит, если раствор денатурированной ДНК выдерживать в условиях, когда двуспиральная структура ДНК стабильна. ...Скорость ренатурации зависит от многих факторов, и в первую очередь, от т.н. сложности ДНК, которая представляет собой число нуклеотидных пар в неповторяющихся последовательностях ДНК. ...Чем выше сложность ДНК, тем медленнее идет ренатурация. ...Если ренатурации подвергают не целые, а фрагментированные молекулы, то скорость ренатурации возрастает с ростом длины фрагмента. Две ДНК из разных источников денатурируют, и затем смесь ренатурируют. При этом, наряду с исходными нативными молекулами образуются гибридные молекулы, содержащие цепи из различной ДНК. Исследование таких гибридов под электронным микроскопом позволяет определить в них положение одно- и двухцепочечных участков. Двухцепочечные участки образуются в исследуемых гомологичных ДНК. Ренатурация в этом случаях называется гибридизацией.» [6, стр.342-343]. Химическое свойство молекул ДНК де- и ренатурировать представляет собой прообраз или даже первообраз полового процесса всех биологических объектов, который в биологической эволюции оказывается

базой полового процесса у прокариот (проявляющегося как рекомбинация и горизонтальный перенос), а затем основой митоза и мейоза у эукариот. Это было отмечено рядом авторов. «Способность молекулы ДНК рекомбинировать *in vivo* унаследована эукариотами от прокариот и в ходе эволюции полового процесса является основой для формирования мейоза» [1, стр.43]. И, более того, даже высокоорганизованный многоклеточный организм (из бделлоидных коловраток) в экстремальных условиях обитания возвращается к этой исходной форме полового процесса [18]. Итак, способность молекул ДНК к де- и ренатурации с одновременной их гибридизацией явилась основой полового процесса на всех этапах эволюции. Дальнейшие эволюционные преобразования были направлены на упорядочение генетических комбинаций и минимизацию случайных заносов при сохранении облигатности генетических обменов.

Половое размножение – это важнейшее обретение эукариот, состоящее в соединении через мейоз полового процесса и размножения. Следует отметить, что половой процесс и процесс размножения – разные и отдельные явления. Размножение представляет собой формирование новых особей, а половой процесс – рекомбинацию имеющихся генов. Размножение без полового процесса характерно для организмов, размножающихся с участием только митотического деления, как, например, при делении амебы или при почкования гидры, когда рекомбинации генов не происходит.

Половой процесс без размножения обычен для одноклеточных эукариот. Инфузория туфелька размножается делением (митозом), а половой процесс осуществляется путем реципрокного обмена микронуклеусами конъюгантов. Когда две инфузории конъюгируют, они соединяются с помощью ротовых аппаратов и формируют цитоплазматический мостик, через который обмениваются генетическим материалом. Макронуклеусы в конъюгантах разрушаются, а каждый микронуклеус претерпевает мейоз, образуя 4 гаплоидных потомка, три из которых погибают, а оставшийся в каждом конъюганте, митотически делится, образуя стационарный и мигрирующий микронуклеусы. Мигрирующий микронуклеус проходит по цитоплазматическому мостику в клетку партнера и сливается там с гаплоидным стационарным микронуклеусом (оплодотворяет его). В результате в каждом конъюганте образуется новое диплоидное ядро. Оно делится митотически, давая новый макро-(соматический) и микро-(генеративный) нуклеусы. После этого конъюганты расходятся без размножения, но с генетически новым перекомбинированным вследствие имевшего места полового процесса ядром [4,12]. Рекомбинация гаплоидных ядер становится гарантировано возможной на видовом уровне. Так, одиночные хламидомонады способны спариваться, при этом сексуальные партнеры одного вида подразделяются на + и – особей. Копулируют подобно изогаметам особи разного знака. При встрече + и – участники спаривания объединяют цитоплазму, их

гаплоидные ядра соединяются в диплоидное ядро зиготы – единственной диплоидной клетки в жизненном цикле этих хламидомонад. Затем зигота претерпевает мейоз и образует четыре гаплоидных потомка – итог полового процесса, - которые размножаются митозом (т.е. бесполом путем) до следующего спаривания.

Структурная организация эукариот стала основой образования огромного разнообразия генетически изолированных таксонов и формированием самого эволюционного древа. Одноклеточные эукариоты имели все необходимые конструкции для создания многоклеточного организма. Наиболее перспективным с точки зрения эволюционного успеха стали формы, у которых инициальными стали постмейотические гаплоидные клетки (половые). Слияние половых клеток в процессе оплодотворения с образованием диплоидной зиготы стало каноническим началом для развития наиболее прогрессивных организмов. Возникло и закрепилось разделение функций половых клеток на запасение ресурса для развития (яйцо) и на доставку гаплоидного набора ядра полового партнера (сперматозоид), усилившее облигатность двуполости родителей. При этом не исключалось восстановление диплоидности на цитологическом уровне без полового партнера (гино- и андрогенез). В эволюции многоклеточных именно половой отбор явился одним из определяющих, позволив на организменном уровне обеспечить гарантированный половой процесс.

Шаги эволюционного усложнения достигают вершины у млекопитающих. У млекопитающих половое размножение предполагает обязательное участие геномов обоих родителей (т.е. обоих полов). У них невозможен ни партено-, ни андрогенез. Гибель диплоидных партеногенетических или андрогенетических эмбрионов млекопитающих обусловлена отсутствием экспрессии генов импринтированных локусов материнского или отцовского геномов, что приводит к возникновению выраженных нарушений развития тканей и органов [7]. Специфическая для родителей эпигенетическая модификация генома, приводящая к неравной экспрессии импринтированных генов из материнских и отцовских аллелей, происходит во время гаметогенеза [23]. Вероятно, эволюционная выработка таких механизмов половой избирательности явилась достижением, повышающим степень обогащения генома вида при вертикальном переносе, усиливающим возможность накопления в геноме вида гомозиготных «неблагоприятных» генов на случай их приспособительной потребности в меняющихся условиях. Подтверждением этого эволюционного запрета являются недавние примеры его преодоления путем переадресирования участков импринтированного генома молекулярно-генетическими методами [30]. Таким образом, непременное участие мужских и женских аллелей в геноме зиготы является обязательным для онтогенеза млекопитающих.

Тем интереснее оказалось существование таких организмов, которые в процессе

Пол и половой процесс

адаптации к суровым условиям обитания утратили канонический мейоз, как эфемериды из бделлоидных коловраток. В условиях Антарктики ДНК ядер яйцеклеток этих форм денатурирует и фрагментируется. При оводнении и ренатурации и ядро восстанавливается за счет собственных фрагментов, а также гибридизации с фрагментами неродственных ДНК, берущихся г.о. из остатков пищи. Это пример того, что возврат к утраченной и «разбуженной» химической способности ДНК к де- и ренатурации молекулы сохранился и оказался эволюционно востребован. Поскольку реактивация в организме способности ДНК к ренатурации и гибридизации на химическом уровне проявляет себя на биологическом уровне, постольку можно сказать, что половой процесс даже старше самой жизни, являясь имманентным химическим свойством ДНК. Связь полового процесса с размножением также берет свое начало в свойствах ДНК (самокопирование, нарастание копий, пloidность)

Заключение

Проведено сопоставление полового процесса у про- и эукариот. За событие, лежащее в основе полового процесса, принимается реципрокный обмен гомологичными фрагментами ДНК. У прокариот такой обмен имеет место при конъюгации клеток, а также без прямого контакта путем трансформации и трансдукции. На химическом уровне все варианты гомологичны друг другу, поскольку во всех случаях имеет место рекомбинация ДНК. Конъюгация, при этом, может считаться вполне гомологичной каноническому половому процессу эукариот, а трансдукция и трансформация – горизонтальному переносу.

Половой процесс эукариот усложнился. У эукариотной клетки проявились универсальные способы размножения: митоз - равнонаследственное деление клетки; и мейоз – неравнонаследственное. Последний (мейоз) вобрал в себя способность ДНК к реципрокному обмену, который осуществляется в пределах одной клетки. Он происходит между гомологичными хромосомами во время их конъюгации при подготовке клетки к редукционному делению. В результате такого обмена геном дочерних клеток оказывается гибридным. Образовавшиеся гаплоидные клетки становятся половыми. Слияние таких клеток образует диплоидную клетку (зиготу) - первую клетки организма новой генерации. Формирование зиготы завершает в этом случае половой процесс, начавшийся еще в мейозе клеток-партнеров. Именно это событие стало рассматриваться как главное в половом размножении. Но следует помнить, что размножение после мейоза (с оплодотворением или без него, как при гино- и андрогенезе) во всех случаях является половым. Половое же размножение с обязательным оплодотворением стало облигатным, например, у млекопитающих. В то же время есть очень важные свидетельства возврата к архаичным формам полового процесса. Так, разрушающийся геном бделлоидных коловраток, приспособившихся к жизни и размножению в условиях голода, пересыхания,

экстремально низкой температуры, оказался способным к восстановлению при обводнении. При таком восстановлении он восстанавливался не только из собственных фрагментов, но вбирал в себя и фрагменты ДНК простейших и прокариот, составлявших пищу коловраток. В таком виде он функционировал и обеспечивал дальнейшее выживание коловратки. Включение неродственных ДНК в геном – яркий пример горизонтального переноса. Само же восстановление происходило по схеме ренатурации ДНК *in vitro*. Таким образом, эта имманентная способность ДНК проявила себя как механизм, к которому возможен возврат и у многоклеточных эукариот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю.Ф., Гришаева Т.М. Консерватизм, изменчивость и эволюция мейоза. - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. - 345с.
2. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. - М.: Изд-во Московского университета, 1985. – 375с.
3. Демин С.Ю., Бердеева М.Н., Гудков А.В. Циклическая полиплоидия у облигатных агамных амеб.// Цитология. - 2018. - № 11 (60). - С.935-938.
4. Догель В. А. Зоология беспозвоночных. 7-е изд. – М.: Высш. школа, 1981. - 606 с.
5. Махлин Е.Е. Синтез избыточных ДНК в ядрах амеб *Amoeba proteus* в клеточном цикле // Цитология. - 1993.-№ 3(35). - С.109-121.
6. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. – М.: Просвещение, 1987. - 816 с.
7. Платонов Е.С. Геномный импринтинг и проблема партеногенеза у млекопитающих // Онтогенез.- 2005. - № 4 (36). – С.300-309.
8. Рупперт Э. Э., Фокс Р.С., Бернс Р.Д. Зоология беспозвоночных.Т.1. Протисты и низшие многоклеточные. – М.: Изд. Центр «Академия», 2008. - 482с.
9. Северцов А.Н. Главные направления эволюционных процессов. 3-е изд. - М.: Изд-во МГУ, 1967. - 202с.
10. Ченцов Ю.С. Введение в клеточную биологию. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 493с. 11.
11. Чубыкин В.Л. Эпигенетический механизм эффекта слабо-вредных мутаций на жизнеспособность потомства и их коррекция в мейозе // Генетика. - 2010. - № 45. - С.1173-1186.
12. Шарова И.Х. Зоология беспозвоночных. - М.: ВЛАДОС, 2002. - 591с.
13. Afonkin S.J., Spontaneous depolyploidisation of cells in *Amoeba* clones with increased nuclear – DNA content // Arch.protistology. – 1986/ - №131.- P.101-112.
14. Allers T., Lichen M. Differential timing and control of noncrossover and crossover

recombination during meiosis // Cell. – 2001. - №106.- P.47-57.

15. Anderson M.Z., Thomson G.J., Hirakawa M.P. et al. A «parameiosis» drives depolyploidization and homologous recombination in *Candida albicans* // Nat.Comm.- 2019/ - №1(10). - P.4388.

16. Flot J.-F., Hespeels B., Li X. et al. Genomic evidence for ameiotic evolution in the bdelloid rotifer *Adinetavaga* // Nature. – 2013/ - №500. – P.53-457.

17. Gilbert J.J. Dormancy in Rotifers // France.Amer.Microb.Soc. – 1974. –№ 4(93).- P.490-513.

18. Gladyshev E.A., Meselson M., Archipova J.R. Massive horizontal gene transfer in bdelloid rotifers // Science. - 2008. - № 320. - P.1210-1213.

19. Gray S., Cohen P.E. Control of meiotic crossovers: from double-strand break formation to designation // Ann.Rev.Genet. – 2016. - №50. - P.175-210.

20. Hespeels B., Knapen M., Hanot-Mambreg et al. Gateway to genetic exchange? DNA double-strand breaks in the bdelloid rotifer *Adinetavaga* submitted to desiccation // J.Evol.Biol. – 2014. - №27(7), p.1334-1345.

21. Hollyday R.A mechanism for gene conversion fungi // Genet.Res – 1964.- №78.- P.282-304.

22. Keeney S.Mehanism and control of meiotic recombination initiation // Curr.Top.Dev.Biol.- 2001.- №52.- P.1-53.

23. Kono T., Obata Y., Wu Q., Niva [Ket](#) al.Birth of parthenogenetic mice that can develop to adulthood // Nature.- 2004.- 428(6985) – P.860-8644.

24. Liderberg J., Tatum L.Gene recombination in *Escherichia coli* // Nature.–1946.–V158.- №4016

25. Lima-de-Faria A.Molekular evolutionary organization of chromosoma.-Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier,1983.-1186p.

26. Mark Welch D.B., Mark Welch J.L., Meselson M.Evidence for degenerate tetraploidy in bdelloid rotifers // Proc.Nat.Acad.Sci.U.S.A.-2008.-№13(105).-P5145-5149.

27. Pagani M., Ricci C., Redle C.A.Oogenesis in Macrotracholepidacornifera (Rotatoria,Bdelloidea)I.Germinarium etely, karyotype and DNA contact // Hydrobiol.-1993.-№255.-P225-230.

28. Ricci [C. Life](#) histories of Rotifera,Bdelloidea // Hidrobiol.-1983.-№104.-P175-180.

29. Schwacha A., Kleckner N.Identity of double Holliday junctions as intermediates in meiotic recombination // Cell.-1995.-№83.-P783-791.

30. Yanchang Wei, Cai-Rong Yang, Zhen-Ao Zhao Viable offspring derived from single

unfertilized mammalian oocytes // PNAS. 2022. - Vol. 119. - №12. - e2115248119

31. Youds J.L., Boulton S.J. The choice in meiosis-defining the factors that influence crossover on non-crossover formation // J.Cell. Sci. – 2011. - №.124. - P.501-513.

SEX AND SEXUAL PROCESS

**V.A.Golichenkov¹, O.V Burlakova¹, E.B. Vsevolodov², M.V. Golichenkov³,
M.B Doronin¹, E.A.Suprunenko¹**

¹Biology Faculty of the Lomonosov Moscow State University Moscow, Russian Federation

²Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

³ Faculty of Soil Science, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow,
Russian Federation

Abstract. The article discusses the origin and changes in the sexual process as a genetic exchange between cells that have a common basis in the chemical properties of DNA in vitro (denaturation and subsequent renaturation). It is noted that with the advent of meiosis, an obligate connection between the sexual process and reproduction arose, which led to the appearance of sexual (postmeiotic) reproduction. However, along with this, among highly organized multicellular organisms, it was possible to return to the sexual process as a horizontal transfer with the inclusion of foreign genes under extreme conditions of existence. Further guaranteed provision of sexual reproduction at the organismal level was the emergence of sexes as carriers of specific germ cells and the process of fertilization (restoration of diploidy). Epigamous imprinting in mammalian gametogenesis has become the most important evolutionary mechanism achieved to ensure obligate bisexuality in mammalian reproduction.

Key words: sexual process, meiosis, meiotic recombination

REFERENCES

1. Bogdanov Yu.F., Grishaeva T.M. Konservativizm, izmenchivost' i evolyutsiya meyoza. - M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2020. - 34__s.
2. Gusev M.V., Mineeva L.A. Mikrobiologiya. - M.:Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1985. – 375s.
3. Demin S.Yu., Berdeeva M.N., Gudkov A.V. Tsiklicheskaya poliploidiya u obligatnykh agamnykh ameb.// Tsitologiya. - 2018. - № 11 (60). - S.935-938.
4. Dogel' V. A. Zoologiya bespozvonochnykh.7-e izd. – M.: Vyssh. shkola, 1981. - 606 s
5. Makhlin E.E. Sintez izbytochnykh DNK v yadrakh ameb Amoeba proteus v kletochnom

tsikle // Tsitologiya. - 1993.-№ 3(35). - s.109-.

6. Ovchinnikov Yu.A. Bioorganicheskaya khimiya. – M.: Prosveshchenie, 1987. - 816 c

7. Platonov YE.S. Genomnyy imprinting i problema partenogeneza u mlekopitayushchikh // Ontogenez.- 2005. - № 4 (36). – S.300-309.

8. Ruppert E. E., Foks R.S., Berns R.D. Zoologiya bespozvonochnykh.T.1. Protisty i nizshie mnogokletochnye. – M.: Izd. Tsentr «Akademiya», 2008. - 482s.

9. Severtsov A.N. Glavnye napravleniya evolyutsionnykh protsessov. 3-e izd. - M.: Izd-vo MGU, 1967. - 202s.

10. Chentsov Yu.S. Vvedenie v kletochnyuyu biologiyu. - M.: IKTs «Akademkniga», 2004. - 493s.

11. Chubykin V.L. Epigeneticheskiy mekhanizm effekta slabo-vrednykh mutatsiy na zhiznesposobnost' potomstva i ikh korrektsiya v meyoze // Genetika. - 2010. - № 45. - S.1173-

12. Sharova I.Kh. Zoologiya bespozvonochnykh. - M.: VLADOS, 2002. - 591s.

13. Afonkin S.J, Spontaneous depolyploidisation of cells in Amoeba clones with increased nuclear – DNA content // Arch.protistology. – 1986/ - №131.- P.101-112

14. Allers T., Lichen M. Differential timing and control of noncrossover and crossover recombination during meiosis.// Cell. – 2001. - №106.- P.47-57.

15. Anderson M.Z.,Thomson G.J., Hirakawa M.P. et al. A «parameiosis» drives depolyploidization and homologousrecombination in Candida albicans // Nat.Commun.- 2019/ - №1(10). - P.4388.

16. Flot J.-F., Hespels B., Li X. et al. Genomik evidence for ameiotic evolution in the bdelloid rotifer Adinetavaga.// Nature. – 2013/ - №500. – P.53-457.

17. Gilbert J.J. Dormancy in Rotifers // France.Amer.Microb.Soc. – 1974. –№ 4(93).- P.490-513.

18. Gladyshev E.A., Meselson M., Archipova J.R. Massive horizontal gene transfer in bdelloid rotifers // Science. - 2008. - № 320. - P.1210-1213.

19. Gray S., Cohen P.E. Control of meiotic crossovers: from double-strand break formation to designation // Ann.Rev.Genet. – 2016. - №50. - P. 175-210.

20. Hespels B., Knapen M., Hanot-Mambreg et al. Gateway to genetic exchange? DNA double-strand breaks in the bdelloid rotifer Adinetavaga submitted to desiccation.//J.Evol.Biol. – 2014. - №27(7), p.1334-1345.

21. Hollyday R. A mechanism for gene conversion fungi // Genet.Res – 1964. - №78. - P.282-304.

22. Keeney S. Mechanism and control of meiotic recombination initiation //

Curr.Top.Dev.Biol. - 2001. - №52. - P.1-53.

23. Kono T., Obata Y., Wu Q., Niva K. et al. Birth of parthenogenetic mice that can develop to adulthood // Nature. - 2004. - 428(6985) – P.860-8644.

24. Lederberg J., Tatum L. Gene recombination in Escherichia coli // Nature. – 1946. – V.158. - №4016

25. Lima-de-Faria A. Molecular evolutionary organization of chromosoma. - Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier, 1983. - 1186p.

26. Mark Welch D.B., Mark Welch J.L., Meselson M. Evidence for degenerate tetraploidy in bdelloid rotifers // Proc.Nat.Acad.Sci.USA. - 2008. - №13(105). - P.5145-5149.

27. Pagani M., Ricci C., Redle C.A. Oogenesis in Macrotracholequidrotifera (Rotatoria, Bdelloidea) I. Germinariumeutely, karyotype and DNA contact // Hydrobiol.- 1993. - №255. - P.225-230.

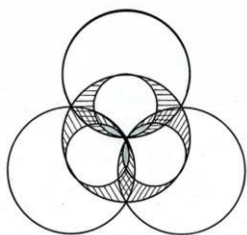
28. Ricci C. Life histories of Rotifera, Bdelloidea // Hydrobiol. - 1983. - №104. - P.175-180.

29. Schwacha A., Kleckner N. Identification of double Holliday junctions as intermediates in meiotic recombination // Cell. - 1995. - №83. - P.783-791.

30. Yanchang Wei, Cai-Rong Yang, Zhen-Ao Zhao Viable offspring derived from single unfertilized mammalian oocytes // PNAS. – 2022. - Vol. 119. - №12. - e2115248119.

31. Youds J.L., Boulton S.J. The choice in meiosis-defining the factors that influence crossover on non-crossover formation // J.Cell. Sci. – 2011. - №124. - P.501-513.

УДК 001.51



ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМНОЕ МИРОВИДЕНИЕ

Иванов О.П., канд.геол.-мин.н., в.н.с., МЗ МГУ им. М.В. Ломоносова

ivanovop2007@yandex.ru

Введение. В последние годы мировая научная общественность пытается объединить свои усилия по координации научных исследований в направлении исследования сложных систем. 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 изучаются во всех крупных университетах Европы и Америки. Данная работа посвящена анализу различных подходов к исследованию проблемы сложных систем с современных позиций. Кратко освещены вопросы становления системного мира. Изложены основы современного понимания глобального Эволюционизма.

Ретроспектива взглядов на системность мира

Последние 20-21 века можно назвать эпохой нелинейной динамики. В основе современного понятия системы нелинейной динамики лежат древнейшие понятия просто систем. Достаточно вспомнить китайские термины Тай Цзы, Инь Янь Гегелевское понятие синтез.

В 20 веке экспериментально было доказана важность диад и триад на формирование материи с позиций начал самоорганизации.

Систéма (от др.-греч. *σύνστημα* — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство.

С нашей точки зрения, применительно к сложным системам это определение следует дополнить с учетом категории кумулятивно-диссипативных процессов. Итак, Сложная система — это совокупность элементов или подсистем, объединенных в целостность за счет топологических и функциональных связей, фрактального самоподобия и единства цели развития. Последнее вводится для того, чтобы возникало свойство *когерентности развития* всей системы. При этом следует учитывать, что понятие цель развития логично и для систем не живой природы и определяется теми законами кумуляции, которым подчинены их движения и эволюция данной системы. При этом принципы управления идут от надсистем. Например, воздушные массы часто объединены центростремительными силами в вихрях, смерчах, циклонах, антициклонах; водные массы в водоворотах; в плазме действует кумуляция по закону

Кулона, так четочные, линейные и шаровые молнии – это итог электрической кумуляции. Эти кумулятивные образования развиваются с учетом мезо- и макромасштабных закономерностей, диктуемых надсистемами (например, сезонные циклы на Земле подчинены кинематике обращения вокруг Солнца, а суточные циклы определены вращением Земли. Как правило диктуют условия надсистемы, а их в мироздании очень много. Т.е. соблюдается иерархия подчинений. Отсюда вывод, что эволюции в подсистемах иерархично ранжированы и как бы **вложены** друг в друга. Косвенный вывод – во Вселенной существует стрела времени, маркируемая последовательностью эволюций. В этом, пожалуй, основной смысл термина глобальный эволюционизм. Понятно, что все системы открыты и взаимодействуют, давая энергию для эволюции.

«Сведение множества к единому — в этом первооснова красоты.» *Пифагор*

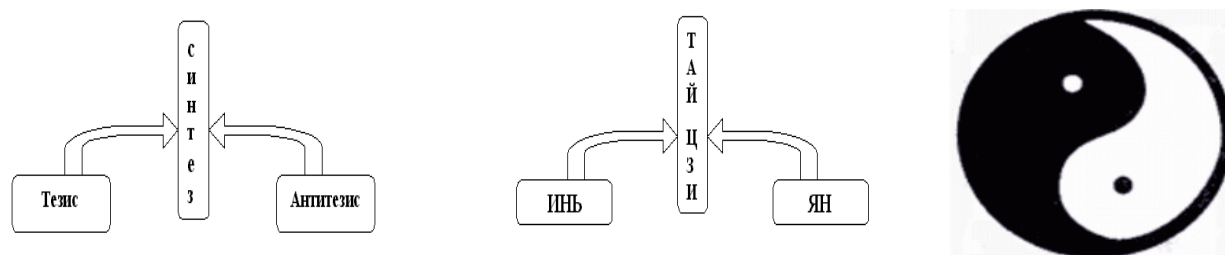


Рис.1. Схемы символов триадности Гегеля (слева) Тай-Цзи (центр), Инь-Янь (справа) [7]

Стремление упростить миропонимание издавна привлекало ученых путем соединения противоположностей. Например, Символ Великого Предела ТАЙ ЦЗИ тоже объединяет две противоположных, взаимодополняющих категории Инь и Янь в единое целое. Это фундаментальный принцип мироустройства и дуализма мира в китайских представлениях. Объединение Инь и Янь в круговой символ ТАЙ ЦЗИ есть то третье, чему аналогом выступает синтез в триаде Гегеля Система — комплекс взаимодействующих элементов это закрепляет целостность и требует когерентности взаимодействий частей. Часто используется термин эмерджентность и здесь много непонимания. Считается, что эмерджентность — это появление у системы свойств, не присущих элементам системы принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её компонентов (неаддитивность). Возможности системы превосходят сумму возможностей составляющих её частей; общая функциональность системы лучше, чем у простой суммы элементов. Откуда все это берется? На наш взгляд это добавляется за счет пространственных связей, включая дальние связи, т.е. разномасштабности самоподобия от фрактальности. В этом величие предвидения древних ученых – они увидели роль паттернов или пространственных образов систем. Мир системен и это нужно было

осознать. Далее возникла проблема осмысления проблем системного мира.

Практически в каждом издании по теории систем и системному анализу обсуждается вопрос о классификации систем, при этом наибольшее разнообразие точек зрения наблюдается при классификации сложных систем. Большинство классификаций являются произвольными (эмпирическими), то есть их авторами просто перечисляются некоторые виды систем, существенные с точки зрения решаемых задач, а вопросы о принципах выбора признаков (оснований) деления систем и полноте классификации при этом даже не ставятся. У философов классификации осуществляются по предметному или по категориальному принципу.

Предметный принцип классификации состоит в выделении основных видов конкретных систем, существующих в природе и обществе, с учётом вида отображаемого объекта (технические, биологические, экономические и т. п.) или с учётом вида научного направления, используемого для моделирования (математические, физические, химические и др.)

При категориальной классификации системы разделяются по общим характеристикам, присущим любым системам независимо от их материального воплощения. Наиболее часто рассматриваются следующие категориальные характеристики:

Количественно все компоненты систем могут характеризоваться как монокомпоненты (один элемент, одно отношение) и поликомпоненты (много свойств, много элементов, много отношений).

Для статической системы характерно то, что она находится в состоянии относительного покоя, её состояние с течением времени остается постоянным. И наоборот, Динамическая система постоянно изменяет свое состояние во времени.

Так, открытые системы постоянно обмениваются веществом, энергией или информацией со средой. Система закрыта (замкнута), если в неё не поступают и из неё не выделяются вещество, энергия или информация.

Поведение детерминированных систем полностью объяснимо и предсказуемо на основе информации об их состоянии. Поведение вероятностной системы определяется этой информацией не полностью, позволяя лишь говорить о вероятности перехода системы в то или иное состояние.

По происхождению выделяют искусственные, естественные и смешанные системы.

По степени организованности выделяют класс хорошо организованных, класс плохо организованных (диффузных) систем и класс развивающихся (самоорганизующихся) систем.

При делении систем на простые и сложные наблюдается наибольшее расхождение точек зрения, однако чаще всего сложность системе придают такие характеристики как большое число элементов, многообразие возможных форм их связи, множественность целей,

многообразии природы элементов, изменчивость состава и структуры и т. д.

О глобальном эволюционизме

Современный взгляд на Вселенную базируется на понятии универсального эволюционизма. «С позиций универсального эволюционизма — эволюция это непрерывный во времени единый процесс, который стартовал в результате Большого Взрыва и привел к формированию Вселенной, возникновению жизни и появлению человека» Добавим именно он запустил процессы разномасштабной, иерархически связанных эволюций. Здесь впервые выделена планетарная эволюция.



Рис.2. Обобщенная схема эволюций

Основываясь на результатах научных исследований, мы можем констатировать, что во Вселенной возникло несколько путей мегаэволюции (рис.2): 1) космическая, связанная с возникновением и развитием различных космических систем от гигантских молекулярных облаков, звезд, звездных систем, различных типов галактик, скоплений галактик, квазаров, черных дыр, темной материи и темной энергии и др., 2) звездная эволюция, 3) ядерная эволюция с образованием всех химических элементов в результате взрывов новых и сверхновых в конце звездной стадии; 4) планетарная эволюция со своими механизмами самоорганизации планет и образованием геосфер и биосфер как на Земле 5) химическая эволюция с возникновением сложных молекул; 6) предбиологическая, 7) биологическая, 8) социальная. Характерно последовательное их включение и развитие в процессы эволюции, и это подтверждает наличие стрелы времени.

Ретроспектива становления понимания системного мира во Вселенной

В 1980 г. Алан Гут, профессор Массачусетского университета предложил модель раздувающейся (инфляционной) Вселенной. На раннем этапе эволюции Вселенной гравитационное сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия при чрезвычайно высоких энергиях,

и температурах, можно рассматривать как единую силу. Само начало называют эпохой Всего Сущего, а состояние - сингулярностью. Радиус сингулярного образования достигал 10^{-50} см., $E \approx 10^{28}$ эв., $T \approx 10^{32}$, $\rho \approx 10^{90}$ г/см³, а само образование обладало высочайшей степенью симметрии и множеством свобод.

Все вышеперечисленные виды эволюции «являются результатом процесса самоорганизации материи, имеют генетическую и структурную преемственность и подчиняются единым законам развития» [14,15]. «Вектор развития направлен в сторону усложнения, но начинаться они могут с образования простейших, но многокомпонентных систем» (рис2). Так, например, косная материя стала формировать гигантские молекулярные облака, Биосфера начала развиваться по принципу усложнения только после прохождения двух многоэлементных путей развития, когда росло количество элементов, но не менялось их качество. Это, согласно академику Г.А. Заварзину, прокариотий (господство на Земле простейших безъядерных организмов — 3,8 млрд. лет назад) и протистий (простейшие ядерные организмы — 1-1,5 млрд. лет назад). Множественность одинаковых элементов способствует возникновению в системе непрерывных колебаний и создает, согласно исследованиям А. Полковникова, постоянную неравновесность [10]. При определенном накоплении возникает неравновесность и ищется более эффективный путь через переход к нелинейной (чаще к степенной) самоорганизации. В Биосфере — это переход к эукариотной эволюции. В космосе — это квантование гигантских молекулярных облаков на части с последующей самоорганизацией по сложности, например, планетарные системы, двойные звезды, скопления звезд, галактики и т.д.

Ядерная эволюция привела к образованию всех элементов таблицы Менделеева, в результате химической эволюции были синтезированы простые и сложные молекулы. Химическая эволюция завершилась образованием сложных органических веществ типа глицина и далее аминокислот, которые дали старт биологической эволюции на Земле.

Биологическая эволюция началась с простейших живых безъядерных клеток — прокариот, а закончилась появлением Человека Разумного — сложнейшего биологического вида с развитым интеллектом, способным к познанию Вселенной. Эхо таких ситуаций до сих пор возникают в виде вирусных пандемий, как попытка к возврату господства простейших, но многочисленных в Биосфере видов. Человечество стало создавать свою собственную антропогенную среду независимую от природы, началась социально-экономическая эволюция общества, которая продолжается и сейчас» Сегодня мы стоим на пороге нового витка эволюции, который определяет облик нашего общества, в котором научно-технический прогресс привел к мощному развитию нано, био, инфо и когнитивных технологий, к достижениям геномной инженерии.

«Парадигма универсального эволюционизма включает представление о познаваемости нашего мира, который существует независимо от человека, но отражает его присутствие в мире и креативные возможности его сознания. Мир познаваем, поскольку человек сам является эволюционным продуктом этого мира. Существует фундаментальное сродство человека и мира, что было подмечено еще И.В. Гёте: «Природа принадлежит сама себе, существо – существу. Человек принадлежит природе, а она – человеку» [15]. Но, если согласиться с Гёте, то мы окажемся далеки от понимания причин ряда явлений, таких как квантования гигантских молекулярных облаков на компактные части, кумуляции вирусов для пандемий, т.е. от понимания необходимости кумуляции простейших систем для последующего формирования сложного, ибо можно предположить, что природа опасается сложного как могильщика всего остального.

Сценарий самоорганизации Вселенной. Физика элементарных частиц в качестве *простейших систем* – частиц рассматривает кварки и лептоны. В природе существует 12 элементарных фермионов. Это шесть кварков, которые, объединяясь в пары (мезоны) и тройки (барионы), образуют все частицы, участвующие в сильных (ядерных) взаимодействиях; и 6 лептонов (электрон, электронное нейтрино, мюон, мюонное нейтрино, тау-нейтрино и тау-лептон), которые участвуют в слабых ядерных взаимодействиях (распадах) и обладают лептонным зарядом. Сумма лептонных зарядов при всех превращениях остается неизменной, потому что на неё распространяется закон сохранения лептонного заряда. Элементарные фермионы связаны друг с другом элементарными бозонами: кварки – глюонами, лептоны – W-бозонами. Все элементарные частицы связаны фотонами для участия в электромагнитном взаимодействии. Глюоны удерживают кварки вместе, образуя струны. При разрыве струны рождается пара кварк – антикварк, которая порождает новую струну. Поэтому свойством квантовых полей является наличие не только частиц, но и античастиц.

Следует подчеркнуть, что кварки могут существовать самостоятельно лишь в экстремальных условиях (кварк-глюонный хаос ранней Вселенной), а в менее жестких условиях они стремятся к различным объединениям, поэтому не только протоны и нейтроны, но и все адроны состоят из кварков. Создается впечатление, что для простейших систем типа кварков самостоятельность не выгодна. Именно с этих частиц и начинается строительство более сложного мира. В то же время, лептоны, которые тоже можно считать простейшими системами, не требуют экстремальных условий и поэтому могут существовать самостоятельно [18].

Общепринятый сценарий рождения и развития Вселенной в первом приближении состоит в следующем. В самом начале рождения Вселенной (планковское состояние) из-за сверхвысоких температур и давлений существовала некая хаотическая и флуктуирующая от

избытка энергии кварк - лептонная смесь. Грубо говоря, - смесь из первичных простейших и не делимых элементов (систем), хотя сама Вселенная была в крайне возбужденном и, следовательно, неравновесном состоянии (рис.3). В этом состоянии **Вселенная обладала максимумом числа симметрий**.

Одна из флуктуаций сверхэнергии перешла в состояние Большого Взрыва. Последовало развертывание процесса расширения Вселенной, что привело к снижению температуры и давления, которое продолжается до сих пор и, соответственно, к возникновению различных фазовых переходов. В начальном состоянии (сингулярном) Вселенная находилась в хаотическом состоянии и поэтому обладала максимумом свобод и симметрий (рис.3.).



Рис. 3. Схема возникновения кварк-глюонной плазмы или исходное состояние Вселенной

При достижении первого критического уровня в результате фазового перехода произошло отделение гравитации – **первое нарушение симметрии**. Гравитация превратилась в системообразующую силу.

При $t = 10^{-35}$ с, $E > 10^{24}$ эв и $T = 10^{28}$ К сразу после начала фазы инфляции возникло **второе нарушение глобальной симметрии** путем отделения сильного взаимодействия, обладающего своим спектром структурирования за счет глюонов - переносчиков сильного взаимодействия. Глюоны совместно с кварками начали образовывать кварк-глюонную плазму на смену кварк-лептонной фазы.

В ЦЕРНе в 1999 году были проведены эксперименты с ионными пучками, энергия которых была наибольшей получаемой до сих пор в современных ускорителях. При столкновении частиц таких высоких энергий с неподвижной мишенью происходит сосредоточение огромного количества энергии в столь малом объеме вещества, что возникает кварк-глюонная плазма [11]. Согласно мнению большинства исследователей, такие энергии ($T = 10^{12} \div 10^{15}$ К) соответствуют периоду 10^{-6} с после Большого взрыва. Для получения кварк-глюонной плазмы были использованы тяжелые ионы свинца, ионы золота, т.к. они могут создать при высоких скоростях разгона поразительно высокую энергию в 35 Гэв. Кварки обычно входят в состав адронов, испытывающих сильное ядерное взаимодействие, но при столь

высоких энергиях они начинают существовать сами по себе, не принадлежа конкретным адронам, а т.к. глюоны являются переносчиками сильного взаимодействия, образуется смесь частиц - кварк-глюонная плазма. Для образования плазмы тяжелые ядра Рb и Au должны сталкиваться при $E \gg 2$ Гэв ультра-релятивистские энергии, т.к. скорости ядер приближаются к скорости света.

При кинетических энергиях более 270 Мэв могут рождаться пары пионов π^+ и π^- . Для таких ультрарелятивистских соударений рассматривается столкновение адронов как возбуждение массивных «струн» Струна «рвется» и превращается в пару кварк-антикварк. Пары кварков объединяются в адроны (пионовые струны). При большом количестве струн система переходит в кварк-глюонную плазму, а из нее при охлаждении в процессе фазового перехода конденсируются адроны [11,18].

Анализ уравнения состояния ядерной материи (Х. Гутборд, Х. Штокер) показывает, что одновременно, но при разных Р, Т условиях, существует несколько фаз: нормальная фаза, когда ядерная материя аналогична жидкости. При больших значениях Р или Т - ядра «вскипают» и образуют фазу адронного газа. При очень больших Р, но низких Т - ядра могут замерзнуть, образуя конденсаты. При очень больших Р или Т - образуется плазменная фаза, состоящая из свободных кварков и глюонов или образуются «странные капли», состоящие из «странных» кварков и метастабильных объектов. Сильное взаимодействие существует только внутри ядер и связывает кварки в адроны, протоны и нейтроны, а остаточное сильное взаимодействие объединяет протоны и нейтроны в ядра.

При $T = 10^{15}$ К и $E = 10^{11}$ эв (эксперименты в ЦЕРНе) зафиксировано появление бозонов - переносчиков слабых взаимодействий, однако при этих условиях процесс еще не носит массового характера. Начиная с $T = 10^{13} \div 10^{12}$ К и энергий $E = 10^{10}$ эв, происходит постепенное усиление процесса образования адронов (экспериментально доказано) и всех частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. На этом уровне, начиная со времени $T = 10^{-4}$ с, возникают *экзотические формы темной материи* и активно образуются π - мезоны, относящиеся к классу бозонов и связывающих нуклоны в ядре, а также возникают сами нуклоны [18].

Фактически возникают первые системы из пионов, которые в силу высоких энергий пребывают в состоянии динамического хаоса.

Это первый самый горячий нуклонный хаос. Заметим, что $T = 10^{12}$ К является максимальной температурой нейтронных звезд. Действительно, как показывает эксперимент, с этого момента все активнее идет образование нуклонов – (протонов и нейтронов). Вначале процесса нуклеосинтеза отношение $n/p \approx 1$ (здесь n – нейтрон, p – протон), говорит о тепловом

равновесии и хаосе, но к моменту $t = 1\text{с}$ и $T = 10^{10}\text{К}$ происходит нарушение равновесия нуклонного газа: сначала p/r достигает $1/3$, а затем становится менее $1/7$ в силу того, что нейтроны нестабильны и распадаются.

Только элементарные частицы не имеют внутренней структуры - Они делятся на 2 класса: фермионы (спин $1/2$) и бозоны (спин 1).

В природе существует 12 фундаментальных фермионов или ароматов (6 кварков и 6 лептонов). Им соответствуют 12 антифермионов.

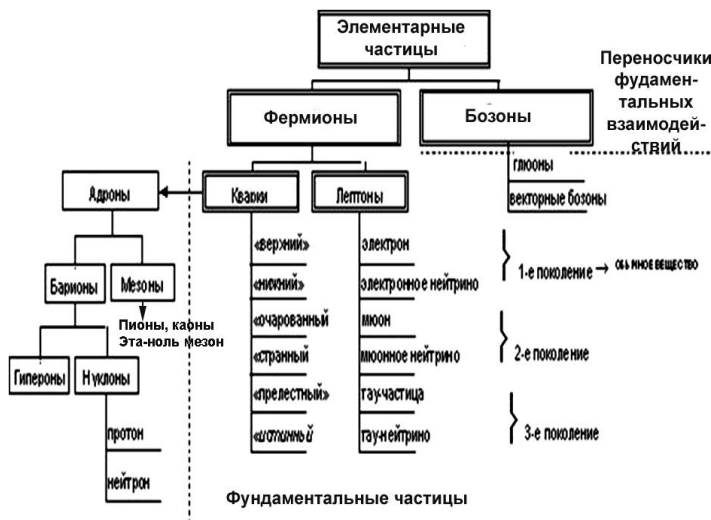


Рис.4. Первичная материя без структуры - фундаментальные частицы

Переносчики взаимодействия: Глюоны, гамма-кванты, W и Z бозоны. Они являются фундаментальными бозонами. Спины фундаментальных бозонов равны 1.

Составные частицы. Это адроны – мезоны и барионы.

Мезоны (кварк и антикварк), к ним целое значение спина и барионный заряд $B = 0$ и **Кварконии** $\pi \cdot \rho \cdot \eta \cdot \eta' \cdot \phi \cdot \omega \cdot J/\psi \cdot Y \cdot \theta \cdot K \cdot B \cdot D \cdot T$

Барионы имеют полуцелый спин (т.е. являются фермионами и подчиняются принципу Паули).

К числу барионов относятся протон и нейтрон с кварковыми структурами $p = (uud)$, $n = (udd)$. и **Гипероны** $\Lambda \cdot \Lambda \cdot \Sigma \cdot \Xi \cdot \Omega$

К моменту, когда размер Вселенной достигает $R = 10^{41}$ см. происходит отделение электромагнитного взаимодействия от слабого, сопровождаемое **третьим нарушением симметрии** взаимодействий (третья бифуркация или фазовый переход), и начинается основной процесс нуклеосинтеза.

Ко времени $t \approx 10^2$ с при $T \approx 10^9$ К за счет ряда последовательных реакций: $p+n=D$;

$D+p=T$; $T+T=He$ возникает первичное ионизированное вещество (D – дейтерий, T –

третий

He – гелий). Его уже можно назвать сложным первичным веществом или сложными первичными системами.

Результаты астрофизического математического моделирования, согласующиеся с астрономическими данными, подтверждают это. Так, считается, что решетки «белых карликов» при $T = 10^9$ К состоят из ядер С, Н, Мо и вплоть до He, а при $T = 10^8$ К - из ядер He. При $T = 10^7$ К внутри звезды начинается ядерное горение водорода и образуется гелий, что соответствует «кипению» нуклонов, а при $T = 10^6$ К идет реакция горения дейтерия и возникает конвективное состояние внутри звезды.

За период нуклеосинтеза и до настоящего времени образовалась большая часть ядер водорода -71 % и гелия -25 %, а также немного ядер Be7, Li7 и He3. Это мир простейших, но уже сложных систем. Сложность прежде всего за счет начала становления гигантских молекулярных облаков, способных воспринимать внешнюю гравитацию и квантоваться на компактные образования. Как показал Полковников в больших системах возникает термодинамическая нестабильность ведущая к самоорганизации. Квантование – это первый шаг к началу самой простой самоорганизации именно путем квантования. Это реальный выход формирования структур для будущей самоорганизации звезд и планет.

Все остальные более тяжелые элементы – результат звездной эволюции, включая взрывы новых и сверхновых звезд. Согласно модели Большого взрыва при образовании ядер излучение отделяется от вещества, и Вселенная становится прозрачной.

По мере снижения температуры расширяющейся Вселенной до $T \sim 3 \cdot 10^3$ К, примерно до 100 000 лет, шло образование более сложных систем - нейтральных атомов. Лишь при температурах, меньших указанной температуры и при $E = 1$ эв заканчивается эра рассеянного вещества.

Согласно современным представлениям примерно 400 млн. лет от начала Вселенной **начинается доминирование темной материи.**

После этого возникает новая активная стадия эволюции в форме **химического движения материи**. Первое тысячелетие Вселенная была заполнена почти однородным газом и нейтрино. Затем последовало образование молекул и в течение примерно 100 млн. лет их объединение и рост сгущений плотности и стабильного вещества. Именно в эту стадию благодаря действию гравитации возникли первые суперсистемы, благодаря чему в течение последующих 3 млрд. лет произошло сгущение молекул, образование протозвезд, протогалактик и их скоплений.

Возникновение первых звезд внутри протогалактик знаменует эпоху синтеза вещества

и эру звездной эволюции материи. К моменту 3 млрд. лет, по-видимому, образуется большая часть галактик и Млечный путь - Наша Галактика. К моменту 8,3 млн. лет возникает **доминирование темной энергии**. Возникновение Солнечной системы большинство исследователей относят к периоду около 13 млрд. лет. Жизнь возникла на Земле примерно 3,8 млрд. лет назад. Это **четвертое нарушение глобальной симметрии**. Возникновение социума можно отнести примерно к периоду 100 000 лет назад. Это **пятое нарушение глобальной симметрии**. Все эти процессы последовательны и как бы вложены друг в друга, т.е. вытекают один из другого.

Сейчас уже существуют определенные расчеты по итогам эволюции, основанные на наблюдаемых данных. Считается, что в современной Вселенной содержится 0,03% тяжелых элементов; 0,3% нейтронов; 0,5% звезд; 4% свободного водорода и гелия; 25% темной материи и 70% темной энергии.

Таким образом, по сравнению с ранней Вселенной **налицо тенденция системообразования и усложнения систем**. Она прослеживается как в усложнении элементного состава, так и в появлении мегаструктур (от звезд до сверхскоплений галактик). И несмотря на то, что большая часть материи скрыта от нас, мы все же знаем, что темная и видимая материи также подчинены гравитационным связям и обмениваются электромагнитной и гравитационной энергией. Современная Вселенная – это огромная сверхсложная иерархическая система с многоуровневой структурой соподчиненных и параллельных сетей подсистем. Эволюцию косной материи на сегодня можно изобразить в виде следующей упрощенной схеме [3]:

Нуклон – система кварков.

Атомное ядро – система нуклонов.

Атом – система нуклидов и электронов.

Молекула – система атомов.

Клетка – система молекул.

Кристалл – система атомов или молекул.

Порода система кристаллов.

Планетарное тело – система пород.

Солнечная система – система планет, комет, астероидов и малых тел.

Звезды – огромные, но простые системы в галактиках и межзвездных облаках.

Галактики - системы звезд, звездных скоплений, туманностей, темной материи и темной энергии.

Вселенная – гигантская суперсистема скоплений и сверхскоплений галактик, реликтовых и современных излучений, темной материи и темной энергии, гигантских молекулярных облаков, квазаров.

Взаимодействие и движение являются основными формами существования материи, так как передача энергии возможна либо через излучение, либо через полевые формы, либо через движение, либо через контактное взаимодействие. Для всякого объекта существовать, значит взаимодействовать, как-то проявлять себя по отношению к другим телам, находиться с ними в объективных отношениях. Любые формы движения, изучаемые физикой, есть проявление глубинных свойств материи - так называемых фундаментальных взаимодействий, таких как гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий.

«Следует обратить внимание, что процессы самоорганизации имеют прямое отношение к процессам нарушения симметрии. Все развитие Вселенной, от ее рождения до современного состояния, есть последовательность нарушений симметрий, ведущая к появлению все большего многообразия природных структур из первоначальной единой целостной высокосимметричной структуры «первоматерии» Сказанное можно распространить и на возникновение жизни, различных существ, языков, культур, искусств, религий и т.д. Всякий раз, когда нарушалась симметрия (спонтанно или не спонтанно), появлялось нечто новое. Можно сказать, что все существующее сейчас есть результат разворачивания нарушений симметрии или структурно-фазовых переходов к новому типу нелинейности» [13].

Мир ранней Вселенной обладал множеством свобод, но они были неустойчивы и крайне изменчивы. Нарушения симметрии – это выделение конкретных сил и связей, способных к самостоятельному устойчивому созиданию своего мира систем. Системообразование сокращает число общих свобод, но увеличивает число устойчивых свобод в направлении развития, и, тем самым, создает перспективы усложнения путем структурирования. Условно это можно назвать **структурной диссипацией**. В то же время мы имеем и противоположные тенденции – стремление материи к экстремальной кумуляции в области звезд, галактик, скоплений галактик и т.д., т.е. к снижению общего числа свобод. Поэтому вопрос о том, что ждет Вселенную в будущем – это вопрос о соотношении процессов кумуляции и диссипации в мегамасштабах, а вместе с ним и вопрос о пределах усложнения мира.

Все системы внутри Вселенной являются подсистемами. Каждая из них уникальна, что и создает иерархичную структуру Вселенной. Обмен энергией между ними происходит за счет взаимодействий. Наблюдения подтверждают, что в природе нет даже двух одинаковых звезд. Все системы косной Вселенной сгруппированы в классы, например галактики, звезды и т.д. Каждый класс осуществляет свою эволюцию. Таким образом фиксируется понятие **вложенность эволюций**, а это означает наличие стрелы времени.

Особенности эволюции косной и живой материи

Рассмотрим случай разрушения металлических сплавов под действием циклических

нагрузок [10]. Это чисто **диссипативный вариант эволюции** испытываемого материала (рис.5). При описании поведения металла в процессе циклического нагружения при разных уровнях напряжения необходимо вводить границы масштабных уровней:

1) неустойчивость I (микроуровень); точка σ_{w1} , связанная с переходом к началу разрушения материала как частично замкнутой системы (кривая 3 на рис.5);

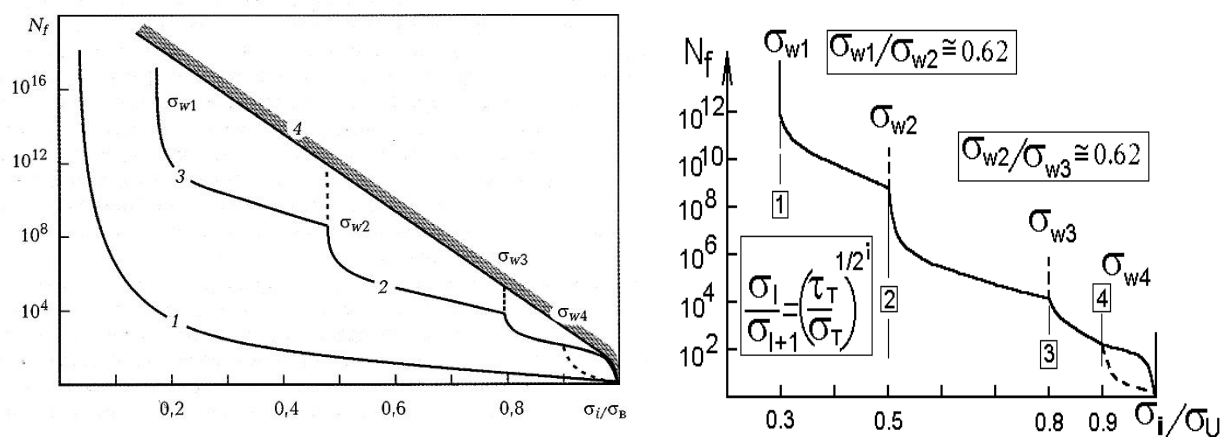


Рис. 5. Слева - обобщенная бифуркационная диаграмма усталостного разрушения различных сплавов с граничными усталостными кривыми: 1) при агрессивном воздействии окружающей среды, 2,3) границы перехода для реальных ситуаций. Справа – бифуркационная диаграмма усталостного разрушения для сплавов на основе железа. 4) для предельно упрочненных сплавов с граничными усталостными кривыми

2) неустойчивость II (мезоуровень I); точка σ_{w2} связанная с переходом к открытой системе, у которой очаг усталостной трещины располагается на поверхности образца (кривая 2);

3) неустойчивость III (мезоуровень II) точка σ_{w3} связана с переходом открытой системы к многоочаговому усталостному разрушению;

4) неустойчивость IV (макроуровень), точка σ_{w4} – связанная с переходом к повторно статическому разрушению, когда очаги и на поверхности и внутри.

При рассмотрении каскада бифуркаций (правая диаграмма) на основе спектра чисел выявлено следующее: известные экспериментальные данные по сплавам на основе железа (российские и японские исследования) удовлетворяют величине $\Delta_I = 0,618$ для соотношения между уровнями напряжений $\sigma_{w1}/\sigma_{w2} = \sigma_{w2}/\sigma_{w3}$ в точках бифуркации. Для алюминиевых и других сплавов будут другие Δ_I (например, для алюминиевых сплавов 0,213) в соответствии с соотношением сдвиговых и нормальных напряжений.

Для варианта кумулятивной эволюции были проведены исследования по кристаллообразованию [9].

Процесс кристаллизации калий фосфатных соединений (КФС) под влиянием ультрадисперсных порошков (УДП) исследовался методом открытой капли. Кристаллизация происходила за счет изменения концентрации раствора, в результате испарения воды. Наблюдение проводили в поляризованном свете. Для описания динамики структурных преобразований был использован базовый алгоритм самоуправляемого структурообразования сложных систем [Иванова В.С., 1992] (рис.5).

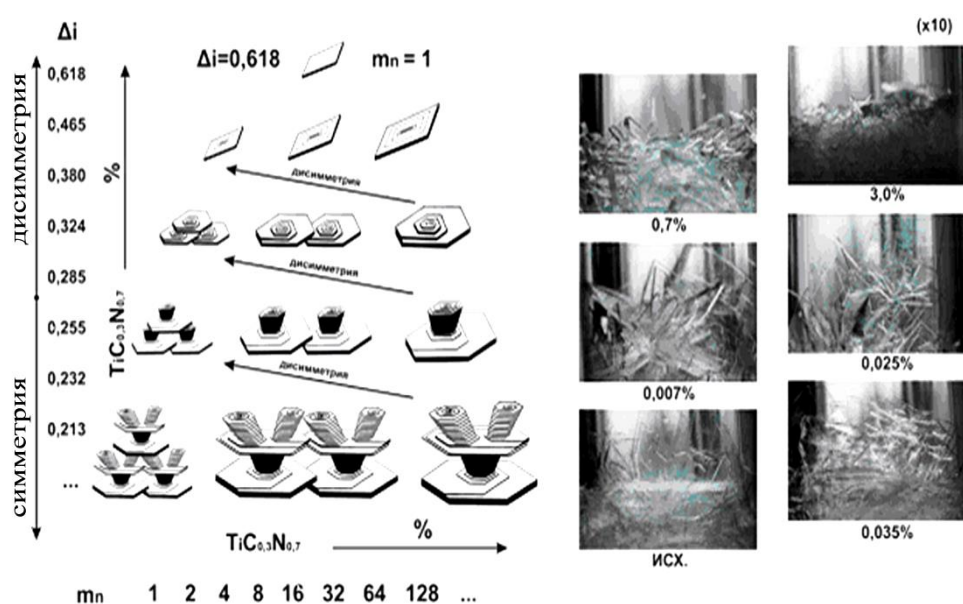


Рис.6. Схема структурообразования и реальное кристаллическое строение связующего $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от количества введенного ультрадисперсного порошка (УДП $\text{Ti C}_{0.3}\text{N}_{0.7}$ (масс, %))

Структурообразование происходит в жидком растворе. Реализация его проявляется в изменении формы кристаллов и в изменении физико-механических свойств КФС. Структурные преобразования в системе идут необратимо. Для кристаллизующейся системы, состоящей из раствора КФС + УДП ($\text{Ti C}_{0.3}\text{N}_{0.7}$), отношение управляющего параметра (концентрация УДП) предыдущей λ_{c_n} и последующей $\lambda_{c_{n+1}}$ точек бифуркаций во всех концентрационных диапазонах величина постоянная и равна:

$$F = \frac{\lambda_{c_n}^I}{\lambda_{c_{n+1}}^I} = \frac{\lambda_{c_n}^{II}}{\lambda_{c_{n+1}}^{II}} = \frac{\lambda_{c_n}^{III}}{\lambda_{c_{n+1}}^{III}} = 0,9900596 \quad (7)$$

Здесь мера адаптивности – является коэффициентом самоподобия системы, который является показателем начального структурного состояния системы.

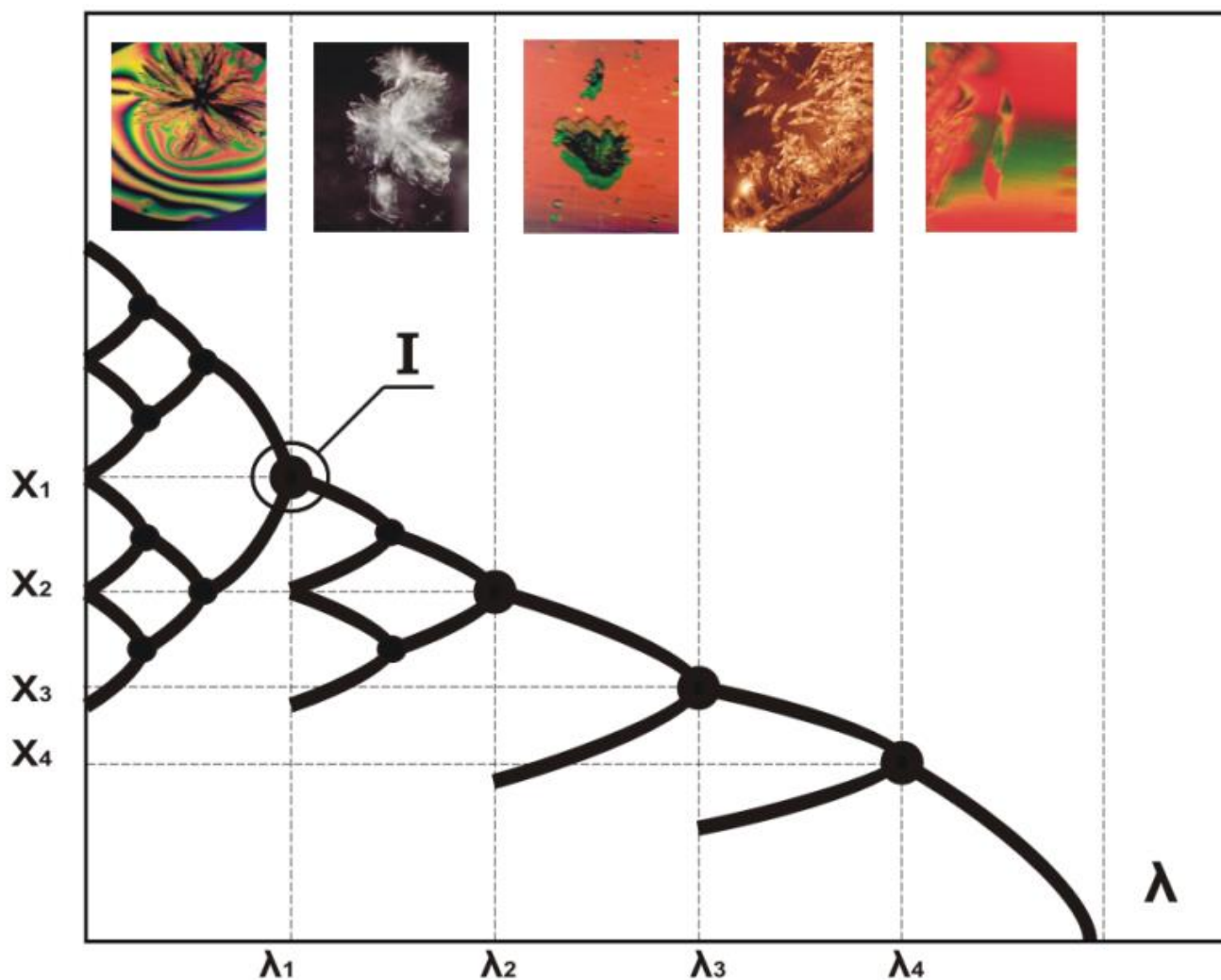


Рис. 7. Бифуркационная диаграмма перестройки кристаллизующихся структур ($\lambda_1 X_1$ – переход от сферолитов к слоистым дендритам; $\lambda_2 X_2$ – переход от слоистых к плоским дендритам; $\lambda_3 X_3$ – переход от плоских дендритов к слоистым пластинчатым кристаллам; $\lambda_4 X_4$ – переход от слоистых к пластинчатым кристаллам)

Поэтому, определив значения управляющего параметра в предыдущей и последующей точках бифуркаций, в любом диапазоне, можно просчитать все значения управляющего параметра в точках бифуркаций. На базе полученных экспериментальных данных была предложена бифуркационная диаграмма перестройки кристаллизующихся структур (рис.8).

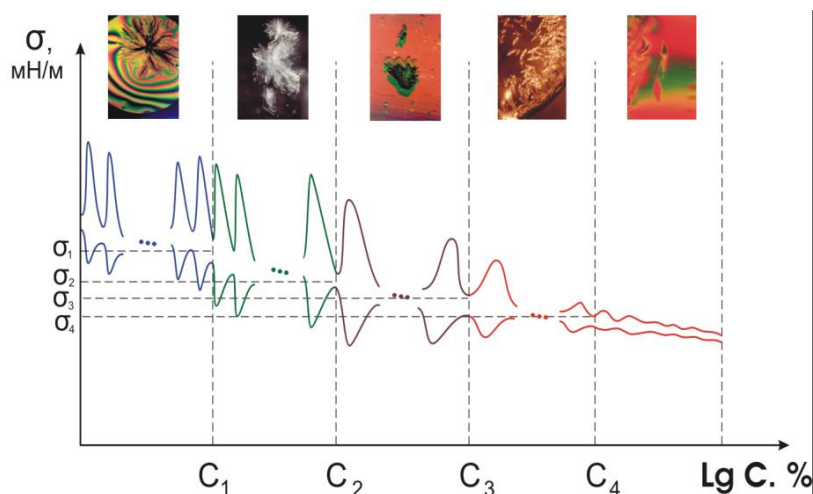


Рис.8. Частный вид бифуркационной диаграммы для анализа изменения поверхностного натяжения раствора КФС в зависимости от концентрации УДП $TiC_{0,3}N_{0,7}$ (% масс.) (σ_1C_1 – переход от сферолитов к слоистым дендритам; σ_2C_2 – переход от слоистых к плоским дендритам; σ_3C_3 – переход от плоских дендритов к слоистым пластинчатым кристаллам; σ_4C_4 – переход от слоистых к пластинчатым кристаллам)

Уменьшение поверхностного натяжения раствора КФС свидетельствует о снижении энергии Гиббса и уменьшение энтальпии, при этом адаптивность и симметрия системы уменьшаются, а устойчивость возрастает.

Таким образом, сопоставляя представленные результаты исследований и учитывая хорошее совпадение лабораторных и модельных данных, полученных с помощью универсального алгоритма, можно утверждать, что **сценарии эволюции сложных систем в диссипативном и кумулятивном вариантах идентичны.**

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. Эволюция всякой сложной системы по любому сценарию носит иерархический характер.
2. Последовательность бифуркационных переходов может быть аппроксимирована степенной зависимостью.
3. Для сплошных сред последовательность бифуркационных переходов моделируется итерационными уравнениями гиперболического типа.

Проведем анализ для систем живой природы. Совершенство организма – это способность к адаптации в новых условиях внешней среды, реализуемая за счет возникновения новых функций в организме, выполняемых новыми специализированными типами клеток. К сожалению, непосредственно биологических определений типа клеток много и это делает почти

невозможной процедуру формализации для целей последующего моделирования. Это очевидно из следующих определений [12].

Определение интуитивное: «клетки одинаковой морфофизиологической характеристики относятся к одному клеточному типу» [8].

Определение практическое: совокупность клеток, которые экспрессируют специфические маркерные молекулы и обладают характерными функциональными свойствами, относятся к одному клеточному типу.

Определение эволюционное: в филогенезе новые клеточные типы формируются из дочерних путем утраты, приобретения либо изменения функции вследствие, соответственно, утраты/приобретения генов специфических транскрипционных факторов либо их дупликации (по: Arendt D. Nat Rev Genet 2008; 9: 868-82 (P. 868, 870). Получается, что детекции специфического клеточного маркера (напр., фактора транскрипции) достаточно для выявления клеток одного типа (но только в случае сравнения с клетками эволюционно схожего типа).

Определение глобальное транскриптомное/протеомное: у клеток одного типа одинаковы не только морфофункциональные характеристики, но и транскрипционный/протеомный профиль (т.е. глобальный клеточный фенотип). Проблема: фенотип клетки может меняться без изменения ее типа.

Определение глобальное эпигеномное: «клетки с идентичным набором разрешенных к экспрессии генов (вне зависимости от того, экспрессируются ли эти гены) относятся к одному клеточному типу» [8]. Другими словами, глобальный эпигеномный профиль клетки отражает ее принадлежность к определенному клеточному типу. Изменения эпигенетических меток (метилирования ДНК и модификации «хвостов» гистонов) потенциально может привести (и приводит) к смене клеточного типа или стадии дифференцировки.

Таким образом, наиболее точное определение клеточного типа базируется на исходной причине переменных морфофункциональных проявлений, на совокупности генов, которые экспрессируются либо потенциально могут быть экспрессированы в клетке.

Формализованный подход и математическое моделирование стали реальными только после работ С. Кауфмана. В работах С. Кауфмана предполагается и отчасти доказывается, что **тип клетки** соответствует аттрактору цикла состояний, т.е. он воплощает в себе довольно стабильный цикл экспрессии в определенном геномном наборе. Если тип клетки – это аттрактор, то можно предсказать: сколько различных клеточных типов должен содержать организм [6].

С. Кауфманом было выдвинуто предположение, что **тип клетки как аттрактор в динамике генома, может концентрировать на себе те или иные функции.** Это позволило

сопоставить число типов клеток в виде аттракторов с количеством ДНК в клетке и с числом генов в геноме данного организма (рис.9.).

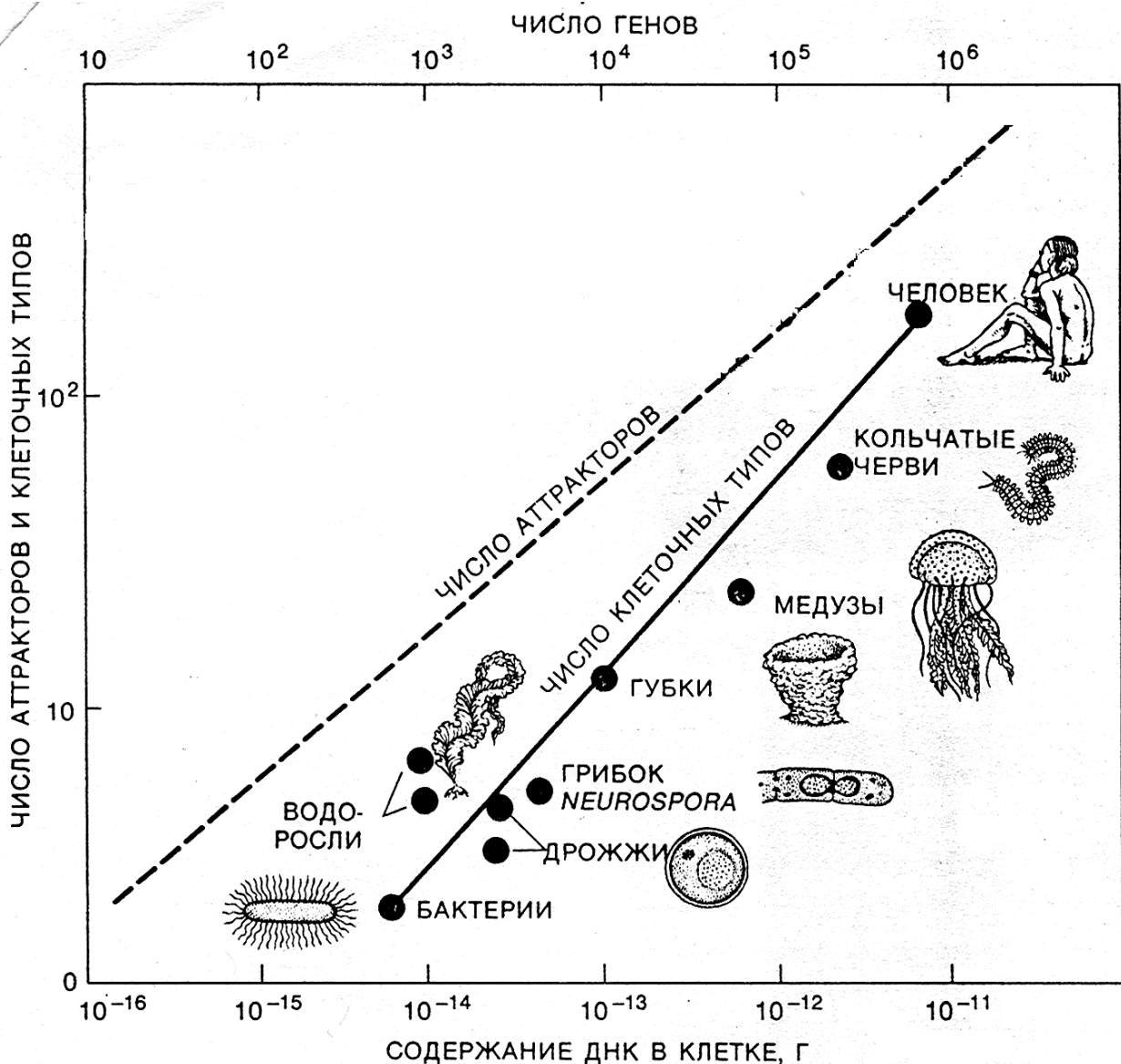


Рис.9. Диаграмма зависимости содержания ДНК в клетке (или числа генов) от числа аттракторов и клеточных типов [6]

На рис.9, построенном по данным математического моделирования, показано, как число типов клеток зависит от числа генов в геноме конкретного организма. Число генов пропорционально количеству ДНК в клетке. Если регуляторные генные системы можно представить булевыми сетями с $K=2$, то число аттракторов приблизительно равно квадратному корню из числа элементов сети (генов); следовательно, число клеточных типов должно приблизительно соответствовать квадратному корню из числа генов. Отсюда у человека должно быть около 10^5 генов и 370 клеточных типов.

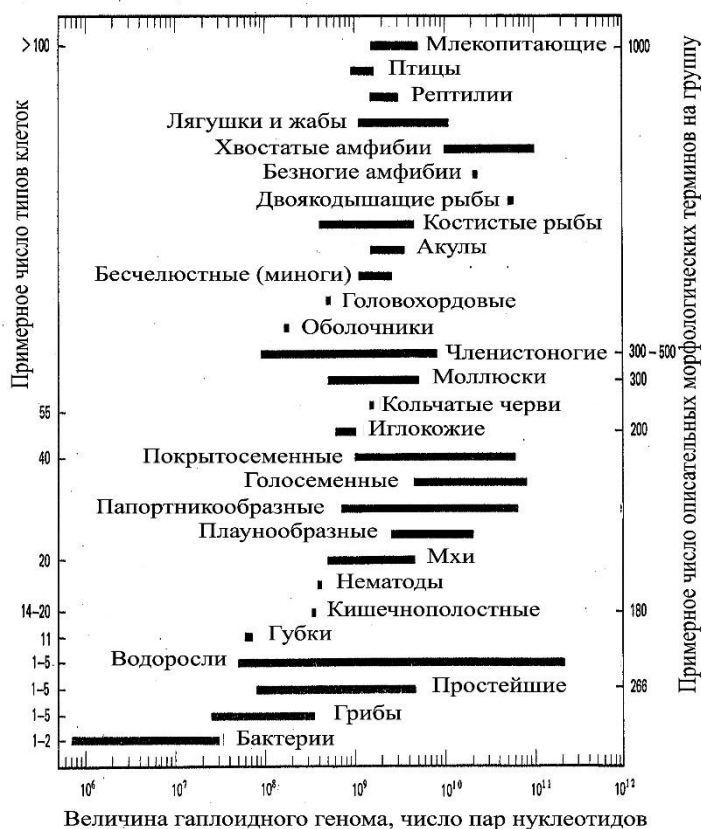


Рис. 10. Таблица роста числа типов клеток в процессе эволюции Биосферы [8]

Согласно самым последним подсчетам, у человека насчитывается 254 различных типа клеток. Т.е. модельные данные близки к реальным данным. Было установлено, что для многих крупных таксономических групп живых организмов действительно число клеточных типов возрастает приблизительно как квадратный корень от числа генов в клетке. Следует отметить, попытки оценить число типов клеток в различных живых и палеоорганизмах были предприняты несколько раньше. Например, выше на рис.10 показаны результаты исследований американских ученых [8].

Из этих результатов следует чрезвычайно привлекательный вывод, что характер эволюции живого может быть описан по параметру сложность. Совершенство организма – это способность выживать и, следовательно, надежно адаптироваться в новых условиях внешней среды. При этом **каждый новый эволюционный вид характеризует скачкообразное изменение характера эволюции всей надсистемы**. Авторами был обоснован конкретный управляющий параметр для анализа усложнения процесса эволюции Биосферы – это число типов клеток по С. Кауфману [4] (рис.3).

Если мы обратимся к вопросам живой материи, то обнаружим некоторую аналогию.

Отметим, что на ранних этапах эволюции косной материи формировались гигантские

молекулярные облака, т.е. сообщества простейших систем И в живой Природе, например, в Биосфере тоже шло длительное накопление простейших. Так согласно исследованиям академика Г.А. Заварзина безъядерные прокариоты господствовали с 3,5 млрд лет до 1,5 млрд. лет назад.

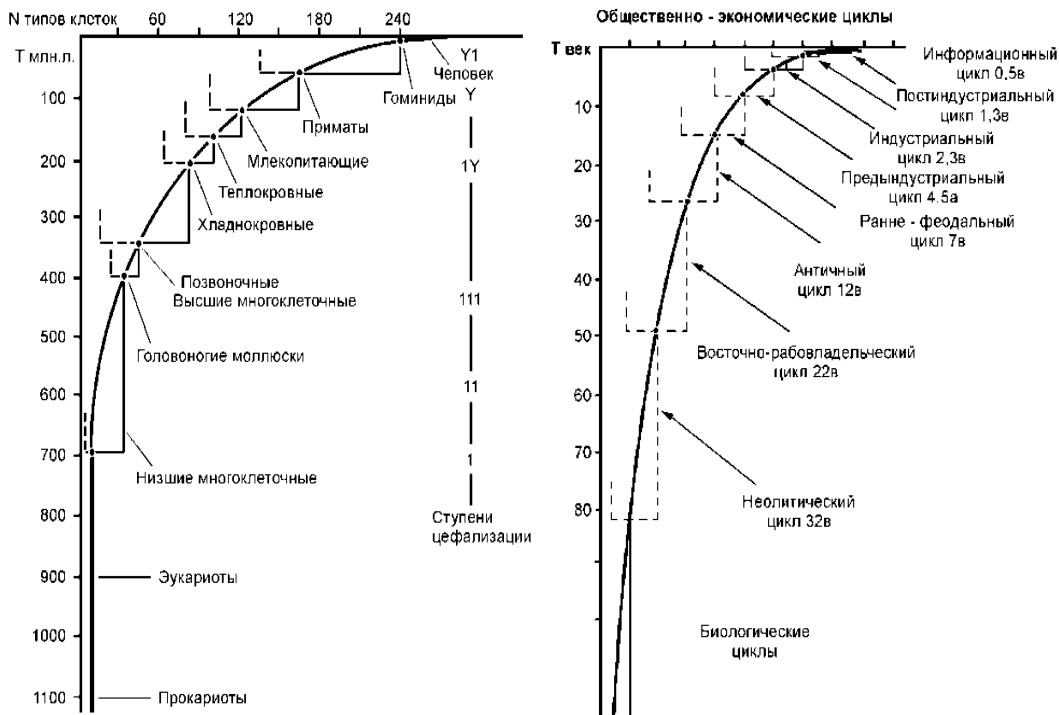


Рис.11. Диаграммы эволюции Биосферы и Социума [2,15]

Простейшие одноядерные возникли к моменту 1,5 млрд лет. И лишь около 700 000 лет назад появились низшие многоклеточные. Этим периодам даже были присвоены наименования - Прокариотий и Протистий. Сейчас структурная лестница эволюции живой материи выглядит следующим образом.

1. Элементарн частицы → Ядра, Атомы,
- 2., Молекулы, Макромолекулы,
3. Микробы, Колонии микробов,
4. Организмы, сообщества организмов,
5. Социальные структуры, государства.

При общем анализе эволюций во Вселенной легко устанавливается последовательность эволюций, т.е. свойство вложенности и тем самым подтверждается наличие стрелы времени.

Свойства и специфика сложных систем.

Таким образом, сопоставляя наши результаты (рис.11) и результаты исследований А.А. Шанявского и В.В. Седельникова, и, учитывая хорошее совпадение лабораторных и

модельных данных, полученных с помощью универсального алгоритма, можно утверждать, *что сценарии эволюции сложных систем в диссипативном и кумулятивном вариантах во многом идентичны.*

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. Эволюция всякой сложной системы по любому сценарию **иерархична**;
2. Последовательность бифуркационных переходов **может быть аппроксимирована степенной зависимостью**;
3. Для сплошных сред последовательность бифуркационных переходов моделируется итерационными уравнениями гиперболического типа;
4. Метод структурно-фазовых переходов позволяет строить сценарии эволюции любых сложных систем и открывает возможности для управления эволюцией этих систем за счет воздействия на наиболее неравновесные структурно-фазовые переходы.

Типология систем. Рассмотрим типологию систем в соответствии с и с нашими комментариями. «Части системы, обладающие целостными системными свойствами, назовем **подсистемами**. Объединение нескольких систем, обладающее целостным системным свойством, будем называть **надсистемой** или системой более высокого порядка.

Элементом системы является объект (часть системы) с однозначно определенными известными свойствами. Выделение элемента из системы лишает его системных свойств.

1. Под **состоянием системы** будем понимать упорядоченную совокупность значений параметров, внутренних и внешних, определяющих ход процессов, происходящих в системе. Множество состояний системы может быть конечным, счетным или континуальным.

2. **Поведение системы** есть развернутая во времени последовательность реакций системы на внешнее воздействие. Воздействие может состоять в передаче вещества, энергии, информации или комбинации этих компонентов»

3. **Среда** есть окружение, с которым система взаимодействует. Взаимодействующие со средой системы называются «открытыми» «Закрытые» («замкнутые») системы среды не имеют. Средой для одной из подсистем системы могут служить остальные подсистемы или часть из них, а также другие «сторонние» системы. Среда – тоже система.

4. Сложные системы могут иметь различную природу. Это и «чисто физические» термодинамические неравновесные необратимые системы (вулкан, солнце), и технические системы (производство), и биологические системы (клетка, живое существо, экологический комплекс), и общественные системы различного уровня (человек, отрасль промышленности, экономика страны). Можно ли предположить, что столь различные объекты возникли на основе одинаковых законов? Прежде чем искать обобщенные законы, необходимо изучить законы,

действующие в конкретных системах – иначе нечего обобщать [Иванов О.П., Оксогоев А.А., 2008].

5. По принятым правилам закон должен выражать устойчивые, имманентные причинно-следственные связи между объектами, процессами и величинами. Ввиду различного понятийного аппарата, используемого для описания систем различной природы, найти такие всеобщие связи, которые охватывали бы все сложные системы и в то же время допускали конкретизацию, не удастся. Понятие принципа является более широким и в данном случае более подходящим. Поэтому далее мы подведем итог по единым принципам существования и эволюции сложных систем.

Типология сложного мира

Система - совокупность элементов, объединенная общей функциональной средой и целью функционирования и наделенная новым не свойственным только отдельному элементу качеством самой системы. Здесь нет аддитивности $2+2>4$

Функциональная среда системы – это характерная для системы совокупность законов, алгоритмов и параметров, по которым осуществляется взаимодействием между элементами системы и функционирование (развитие системы в целом).

Структура системы – это топологически оформленное множество связей, по которым обеспечивается энерго-, массо- и информационный обмен между элементами или подсистемами системы, определяющее функционирование системы в целом и способы её взаимодействия с внешней средой.

Открытая система - система, способная обмениваться с окружающим пространством (надсистемами и соседними системами) веществом, энергией и информацией.

Самоорганизация системы способность без специфического воздействия извне, обрести какую-либо пространственную, временную, функциональную частотную структуру, например, ритмы курицы для цыплят.

Поведение системы – это развернутая во времени последовательность реакции системы на внешнее воздействие может состоять в передаче вещества, энергии, информации, например в виде ритмов или комбинации этих компонентов.

Среда – это окружение, с которым система взаимодействует. Взаимодействующие со средой системы называются «открытыми» «Закрытые» (замкнутые) системы среды не имеют. Средой для одной из подсистем системы могут служить остальные подсистемы или часть из них, а также другие «сторонние» системы. Среда—тоже система.

Сложные системы

1. Сложными могут быть состояние и структура системы, ее взаимодействие

с подсистемами, другими системами и надсистемами, поведение системы, как отклик на воздействие или состояние; эволюция системы.

2. Отсчет становления сложности в системе начинается с первых нелинейных явлений, возникающих либо в поле внутренних связей системы, либо в ее поведении, либо в поле взаимодействий. Причиной зарождения сложной системы является неоднородность и не равновесность среды.

3. Базовыми условиями для развития сложных систем могут быть кумулятивные процессы любой полевой формы энергии или специфика топологии пространства-времени.

Свойства сложных систем

1. Вложенность — Вселенная мегасистема, и в нее как бы вложены все остальные эволюции систем по иерархии (рис.3). Причем этот принцип так и сохраняется по иерархии систем. Например, сверхскопления галактик содержат скопления, в которых располагаются галактики. А в них содержатся молекулярные облака, звездные группы, включая и планетные системы. На некоторых планетах, как на Земле, возможна жизнь и т.д. Что дает свойство вложенности? Прежде всего порядок подчинения. Ранги вложенности создают руководящие параметры порядка.

2. Целостность – новое дополнительное системное свойство, возникающее при объединении элементов в систему и характеризующееся несводимостью к сумме свойств элементов. Системные свойства формируются путем накопления, усиления и проявления одних свойств подсистем одновременно с нивелированием, ослаблением и скрыванием других при взаимодействии подсистем. Происходит скачок – переход количества в качество. Поэтому не всякое расчленение системы позволяет получить части (подсистемы), более простые и доступные для исследования.

3. Открытость. Это свойство впервые было провозглашено Людвигом фон Бергаланфи в середине 50-х годов, на основе общей теории систем, когда он предложил теорию открытых систем, которая довольно быстро была распространена не только на биологию, но и на другие дисциплины» Данное свойство предполагает всеобщность взаимодействий во Вселенной и является жизненно необходимым для эволюции любой сложной системы. Но взаимодействие происходит с учетом соподчиненности систем. Далее система должна быть не просто открыта, а доступна в определенном диапазоне частот, ибо нельзя настроиться на приём во всех диапазонах частот»

4. Адаптивность. Данное свойство является системно сберегающим особенно в условиях быстрой изменчивости условий воздействий внешней среды. В основе его лежит «правило избыточного разнообразия сложной системы» вытекающее из «закона необходимого

разнообразия», сформулированного У. Р. Эшби в 1950 –х гг. Вероятность сохранения сложной системы пропорциональна накопленному в ней разнообразию, которое фактически представляет собой потенциал запасных эволюционных выходов системы из кризисных состояний.

5. Экономичность – реализация принципа максимума извлечения энергии из окружающей среды (максимизация открытости на поглощение), максимума ее освоения за счет усложнения внутренней структуры (максимизация энергоемкости) и минимума диссипации энергии во вне (минимизация энтропии, в том числе и за счет усложнения).

6. Уникальность – система любого класса не имеет полных аналогов поведения или аналоги настолько редки, что с их наличием в исследованиях и практике можно не считаться. «Свойство уникальности является внешним по отношению к системе и влияет на отношение к ней других систем. Достаточно отметить, что звезды различаются между собой цветом, блеском, а исследования с помощью телескопов показывают, что двух одинаковых звезд не бывает. Эффективные температуры их излучающих поверхностей находятся в пределах от 3 000 К до 80 000 К, массы различаются в сотни раз, а радиусы – в миллиарды»

7. Устойчивость – способность устранять последствия внешних и внутренних случайных воздействий и стабилизировать внутреннее динамическое состояние (мера вероятности пребывания в данном состоянии). Определяет «стремление» системы к основному процессу.

8. Антиэнтропийность – «система в состоянии (в определенных пределах) управлять своей энтропией (уменьшать ее, сохранять, тормозить увеличение) при случайном и не благоприятном воздействии среды или (и) способна осуществлять регулирование поведения, преследующее достижение определенной цели».

9. Целенаправленность – «стремление» к достижению цели – косвенно тоже выражает антиэнтропийную тенденцию: сохранения и усиления основного процесса, ведущего к цели. Здесь происходит минимизация затрат энергии и времени для достижения цели» Свойство целенаправленности является внутренним, трудно распознаваемым и не всегда доступным пониманию исследователя, особенно на относительно коротком (по сравнению со временем существования системы) интервале времени. Целенаправленность можно понимать как функциональную тенденцию, направленную на достижение системой некоторого состояния, либо на усиления (сохранение) некоторого процесса. При этом система оказывается способной противостоять внешнему воздействию, а также использовать среду и случайные события» Это касается и живых и не живых систем. В случае не живых систем работает подчинение некоторому закону, в рамках которого система развивается, т.е. стремление выполнить этот закон с минимальными затратами. Следствием принципа целенаправленности является **постулат выбора**. Сложные системы обладают способностью к выбору поведения, и, следовательно, однозначно

предсказать способ действия и экстраполировать их состояние невозможно ни при каком априорном знании свойств системы и ситуации. Сложная система строит свое поведение в существенной (хотя и неоднозначной) связи с ситуацией. Часто приходится в основном иметь дело с системами, для которых постулат выбора выдвигается на передний план, особенно в зонах бифуркации.

10. Слабая предсказуемость – никакое, сколь угодно подробное знание морфологии и функций элементов (подсистем) не позволяет определить всех функций сложной системы; поэтому никакое, сколь угодно подробное и точное знание поведения сложной системы на реальном интервале (пространства или времени) не позволяет точно предсказать её поведение в будущем» Однако существует коридор устойчивости эволюции у каждой системы, согласно которому выход за его пределы, карается не перспективностью развития. Например, «палеонтологическое древо эволюции» изобилует тупиковыми ветвями. Отклонение от основной ветви развития более чем на 3σ (по Ляпунову) - риск развития.

11. Эмерджентность – общесистемное свойство, не свойственный отдельным элементам и даже подсистемам. Вообще говоря, это декларируемое свойство, ибо не понятно, что за ним стоит. Можно предположить, что это образ (паттерн), включающий дальние и ближние топологические и функциональные связи, обусловленный фрактальностью целого. Есть еще один путь. Отметим, что процесс эволюции не аддитивен и при переходе в зоне бифуркации на другой уровень организации система приобретает эмерджентное качество и самое главное перестраивается подсистема функциональных связей как по вертикали, так и по горизонтали, а это уже явление самоорганизации, т.е. самоорганизация привносит эмерджентность.

12. Эволюция сложных систем сохраняет стрелу времени по мере развития подсистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. - М.: Наука, 1984. - 193 с.
2. Иванов О.П. Эволюция миропонимания от триад до сложных систем. - М.: Дельфис, 2014, №3 (79), 65-78.
3. Иванов О.П., Иванова В.С. Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем. Сб. «Синергетика.» Т.5. С.128–151.
4. Иванов О.П. Особенности самоорганизации сложных систем в процессе эволюции. Труды семинара Синергетика. - М.: МГУ, 2000. Т.3. - С. 264-272.
5. Иванов О.П. Причины различия эволюции Биосферы и Общества, экологические следствия и методология выхода. Тр. Семинара Синергетика. Естественно-научные, социальные и гуманитарные аспекты. - М.: МГУ, 2003, т.7. - С.51-68.

6. Кауффман С. Антихаос и приспособление. В мире науки, 1991, №10, С.
7. Косинов Н.В. «Принцип ин-ян, святая троица и календарь майя», <http://косинов.314159.ру/косинов23.htm> Источник: СциТецЛиБrary.ру.
8. Рафф Р., Кофман Т. Эмбрионы, гены и эволюция. - М.: Мир, 1986.
9. Седельников В.В. Особенности флуктуационного зарождения кристаллов. Металлургия Машиностроения, 2007, №6, с.27-29.
10. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. Уфа: «Монография», 2007. - 499 с.
11. Шарковский А.Н., Майстренко Ю.А., Томаненко Е.Ю. Разностные уравнения и их приложения. Киев: Наукова Думка, 1986. - 154 с.
12. Улумбеков Е.Г., Челышев Ю.А. Гистология. - М.: 1997.
13. Херринг Т.А., Буффетт Б.А., Матхещ П.М., Шапиро И.И. Геофизические исследования, 1991, В.96, П.8259.
14. Henri Poincaré. Les Methodes Nouvelles de la Mecanique Celeste. Paris, 1892.
15. Kauffman S.A. At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford University Press, Oxford, 1995, 312 p.
16. Polkovnikov A., E. Altman, E. Demler, B. Halperin, and M. Lukin, Decay of supercurrents in condensates in optical lattices, J. of Superconductivity 17, 577 (2004).
17. <file:///C:/Users/User/Desktop/Бифуркация/0327.html>
18. <http://present5.com/prezentaciya-na-temu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>

THE FORMATION OF THE SYSTEM WORLD AND ITS CONSEQUENCES.

Ivanov O. P., Candidate of Geol. - min. n.,

V. N. S. MZ Lomonosov Moscow State University ivanovop2007@yandex.ru

The summary. Principles of occurrence of complex systems are considered. Properties of nonlinearity and complexity connections of system, character of behaviour and interaction with an environment are basic. Evolution of complex systems passes according to a dialectic principle of unity of contrasts accumulation - dissipation. Cumulative forms of processes of both sides meet the requirements of a principle of minimization of power expenses and to speeds of transmission of energy. In a nanoworld, despite of its specificity the basic aspects of synergetics are realized: Reality dissipative structures (self-organizing in existential scale), presence fractal structures peculiar to dynamic chaos and shown in superpackings nanostructures (self-organizing in phase spaces or spaces of condition of systems) and variety of scripts of the evolution, testifying to complexity of structures of all scales (self-organizing in space of strategy, the preferences, deciding rules).

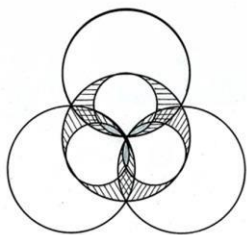
Keywords: biosphere, Geosphere, complex systems, consistency, evolution.

REFERENCES

1. Zavarzin G.A. Bacteria and the Composition of the Atmosphere. - Moscow: Nauka, 1984. - 193 p.
2. Ivanov O.P. The Evolution of Worldview from Triads to Complex Systems. - Moscow: Delfis, 2014, No. 3 (79), 65-78.
3. Ivanov O.P., Ivanova V.S. Nonlinear Discrete Seismology in the Light of Universal Chaotic Dynamic Systems. Collection "Synergetics." Vol. 5. pp. 128–151.
4. Ivanov O.P. Features of Self-Organization of Complex Systems in the Process of Evolution. Proceedings of the Synergetics Seminar. - Moscow: Moscow State University, 2000. Vol. 3. - pp. 264-272.
5. Ivanov O.P. Reasons for the Differences in the Evolution of the Biosphere and Society, Ecological Consequences, and Methodology for Solutions. Proceedings of the Synergetics Seminar. Natural Science, Social, and Humanitarian Aspects. - Moscow: Moscow State University, 2003, Vol. 7. - pp. 51-68.
6. Kauffman S. Anti-chaos and Adaptation. In the World of Science, 1991, No. 10, pp.
7. Kosinov N.V. "The Principle of Yin-Yang, the Holy Trinity, and the Mayan Calendar." <http://косинов.314159.ру/косинов23.htm> Source: SciTechLibrary.ru.
8. Raff R., Kauffman T. Embryos, Genes, and Evolution. - Moscow: Mir, 1986.
9. Sedelnikov V.V. Features of Fluctuation Nucleation of Crystals. Metallurgy of Machine Engineering, 2007, No. 6, pp. 27-29.
10. Shanyavsky A.A. Modeling of Fatigue Failures in Metals. Synergetics in Aviation. Ufa: "Monograph," 2007. - 499 p.
11. Sharkovsky A.N., Maistrenko Yu.A., Tomanenko E.Yu. Difference Equations and Their Applications. Kyiv: Naukova Dumka, 1986. - 154 p.
12. Ulumbekov E.G., Chelyshev Yu.A. Histology. - Moscow: 1997.
13. Herring T.A., Buffett B.A., Mathews P.M., Shapiro I.I. Geophysical Research, 1991, Vol. 96, P. 8259.
14. Henri Poincaré. Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste. Paris, 1892.
15. Kauffman S.A. At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford University Press, Oxford, 1995, 312 p.
16. Polkovnikov A., E. Altman, E. Demler, B. Halperin, and M. Lukin, Decay of Supercurrents in Condensates in Optical Lattices, J. of Superconductivity 17, 577 (2004).

17. <file:///C:/Users/User/Desktop/Bifurcation/0327.html>
18. <http://present5.com/prezentaciya-na-temu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>

УДК 303.425



ОБЗОР РАБОТ Г.А. ЗАВАРЗИНА ПО ТЕМЕ «ГЛОБАЛЬНАЯ РОЛЬ МИКРОБЫ В ЭКЗОГЕННОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ»

Иванов О.П., канд.геол.-мин.н., в.н.с.,
МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова ivanovop2007@yandex.ru

Аннотация. Конец 20-го начала 21-го века отмечены успехами бактериальной палеонтологии. Было введено представление об эволюции геосферно-биосферной системы. Это понятие пришло на смену термина Биосфера по В.И. Вернадскому. Одновременно эти достижения дают возможность по-новому взглянуть на природу самых ранних экзогенных процессов в геологии. В геологии традиционно считается, что экзогенные процессы – это результат воздействия внешних подсистем через параметры: солнечный нагрев, климатические воздействия мороза, ветра, дождя, растворения и вымывания подземными и текучими водами на систему земной коры. С введением понятия геосферно-биогеосферная система акцент должен быть смещен или дополнен понятием экзогенное воздействие микробиоты. Оснований для этого достаточно.

Согласно Г.А. Заварзину, вся первичная микробиота образует почти замкнутые циклы, свидетельствующие о переработке основных пород микробиотой в промежуточные продукты с дальнейшим переводом их в осадочные породы. Так древнейшие строматолиты — это первичные осадочные породы — результат жизнедеятельности первичной микробиоты. Они занимали ранее все окраины палеоморей и океанов. Они близки по химическому составу отложениям окраин современных морей и океанов с плантациями из сине-зеленых водорослей.

В геосферно-биосферной системе наряду с определяющими прямыми связями от геосферы к биоте большую роль играют трансформирующие обратные связи. Так прокариотное сообщество, катализирующее систему биогеохимических циклов, служит основой для дальнейшей эволюции. Возрастающая сложность живых организмов не упраздняет ключевую роль "невидимой микробиоты" для существования биосферы, а накладывается на созданную ими систему. Следовательно, эволюция носит выраженный аддитивный характер.

Ключевые слова: биосфера, Геосфера, сложные системы, системность, эволюция.

Впервые понятие Биосфера, введенное В.И. Вернадским, заменяется на геосферно-биосферную систему и за основу берется системный подход.

История Земли прослеживается палеонтологически для поверхности суши от современности с доминирующим растительно-почвенным покровом и до конца силура, когда этого покрова еще не было, а в море пищевая пирамида с завершающими ее животными с зоотрофным питанием прослеживается до начала кембрия. «Венд составляет эпоху многоклеточных водорослей и паразоа с преимущественно фаготрофным питанием; население на суше в этот период неясно. Ниже идет эпоха микробной жизни протерозоя, в котором биолог может выделить два этапа: один, с доминированием эвкариотных протист, как в современном океане, и другой вплоть до начала геологической летописи с исключительно прокариотными организмами. Переход между этими этапами располагается около 1 млрд. лет назад и относится к началу неопротерозоя, хотя первые находки эвкариот относятся к более раннему периоду» [4,5]. Г.А. Заварзиным предложено назвать эти этапы "протистий" для эпохи распространения протист и "прокариотий" для первоначального бактериального этапа с микрофоссилиями возрастом 3.5 млрд. лет. «Эти микрофоссилии относятся к находкам в формациях Барбертон (Южная Африка) и Пил-бара (Австралия), в то время как находки в железистых кварцитах Иссуа (3.8 млрд. лет) поставлены под сомнение» [11] (Westall et al., 2001). «Ниже располагается эпоха преимущественно геологических процессов становления Земли и формирования ее геологических оболочек, являющихся аналогами микробных сообществ прошлого и сохраняющихся преимущественно в экстремальных условиях, недоступных для эвкариот, единичные представители которых появляются там как вторичные вселенцы. Следовательно, коридор предпочтительных мест обитания сокращается с увеличением сложности организмов. Реликтовые микробные сообщества составляют экспериментальную базу для актуалистической бактериальной палеонтологии» [5,11].

В отличие от палеонтологии высших организмов в бактериологии можно основываться не на отдельных "живых ископаемых", а на целых сообществах и реконструировать потоки вещества в них на основе трофических сетей. Тесная связь бактерий с геосферой позволяет использовать геохимические продукты их жизнедеятельности для определения их функциональных свойств, которые нельзя или трудно установить на основе чисто палеонтологических данных по морфологии микрофоссилий. Это позволяет с большой вероятностью реконструировать биогеохимические циклы прошлого. Такой подход делает биосферную подсистему как бы внутренней подсистемой и усиливает акцент на самоорганизацию жизни на Земле.

Моделью для реконструкции прокариотной биосферы служат экосистемы реликтовых микробных сообществ. Согласно исследованиям Г.А. Заварзина становление системы биогеохимических циклов имело место в период господства на Земле бактерий и может быть понято на основании сопоставления современных процессов взаимодействия бактериальных

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

сообществ с геологическими факторами. «Последовательность событий с очевидностью указывает на то, что формирование предыдущего этапа служит фундаментом, базисом для надстройки на него следующего и вся система представляет собой пирамиду, в которой сохраняемое прошлое служит основой и условием настоящего. Данные бактериальной палеонтологии убеждают, что массовое распространение эукариот-протист произошло в течение неопротерозойской революции, которая совершалась около 1 млрд. лет назад. До этого господствовала прокариотная биосфера, которая и явилась основой развития жизни в процессе аддитивной эволюции, включающей прошлое как основу настоящего» [12].

«В отличие от палеонтологии высших организмов в бактериологии можно основываться не на отдельных "живых ископаемых", а на целых сообществах и реконструировать потоки вещества в них на основе трофических сетей. Тесная связь бактерий с геосферой позволяет использовать геохимические продукты их жизнедеятельности для определения их функциональных свойств, которые нельзя или трудно установить на основе чисто палеонтологических данных по морфологии микрофоссилии. Это позволяет с большой вероятностью реконструировать биогеохимические циклы прошлого».

«В основу деятельности микробиоты положено становление системы биогеохимических циклов, которое имело место в период господства на Земле бактерий и может быть понято на основании сопоставления современных процессов взаимодействия бактериальных сообществ с геологическими факторами. Последовательность событий с очевидностью указывает на то, что формирование предыдущего этапа служит фундаментом, базисом для надстройки на него следующего и вся система представляет собой пирамиду, в которой сохраняемое прошлое служит основой и условием настоящего. Данные бактериальной палеонтологии убеждают, что массовое распространение эукариот-протист произошло в течение неопротерозойской революции, которая совершалась около 1 млрд. лет назад. До этого господствовала прокариотная биосфера, которая и явилась основой развития жизни в процессе аддитивной эволюции, включающей прошлое как основу настоящего» [12].

Предлагается разделить геосферу и биосферу, понимая под последней только ту область, где явления жизни играют определяющую роль. Роль обратных связей от биоты к земной коре велика.

«К важным прямым связям относится дегазация Земли, приведшая к формированию первоначальной атмосферы и гидросферы и закончившаяся до начала геологической летописи осадочных отложений. Большинство моделей исходит из очень быстрой, в течение немногих сотен миллионов лет, дегазации планеты с выделением одного эквивалента океана за 100 млн.

лет (Franck, Vouzama, 1995) с последующим гораздо более медленным выделением газов пропорционально скорости роста океанической коры, т.е. около 70 миллиардных частей CO_2 в год» [12]. Все дальнейшие обсуждения по ранней Биосфере сделаны на основе работ академика РАН, крупнейшего микробиолога Г.А. Заварзина.

В геосферной системе Г.А. Заварзин выделяет следующие основные блоки, соотношение которых будет рассмотрено в связи с определяющими прямыми связями от геосферных факторов в геосферно-биосферной системе [5]. (рис. 1; следует обратить внимание на различие преимущественных источников энергии - эндогенной для геосферы и солнечной для биосферы; в схеме выявляются два узла - атмосферы и химического выветривания). «Движущей силой в этой системе служит атмосферный гидрологический цикл, в свою очередь зависящий от энергии Солнца и перераспределения воздушных масс по земному шару» [5, 12].

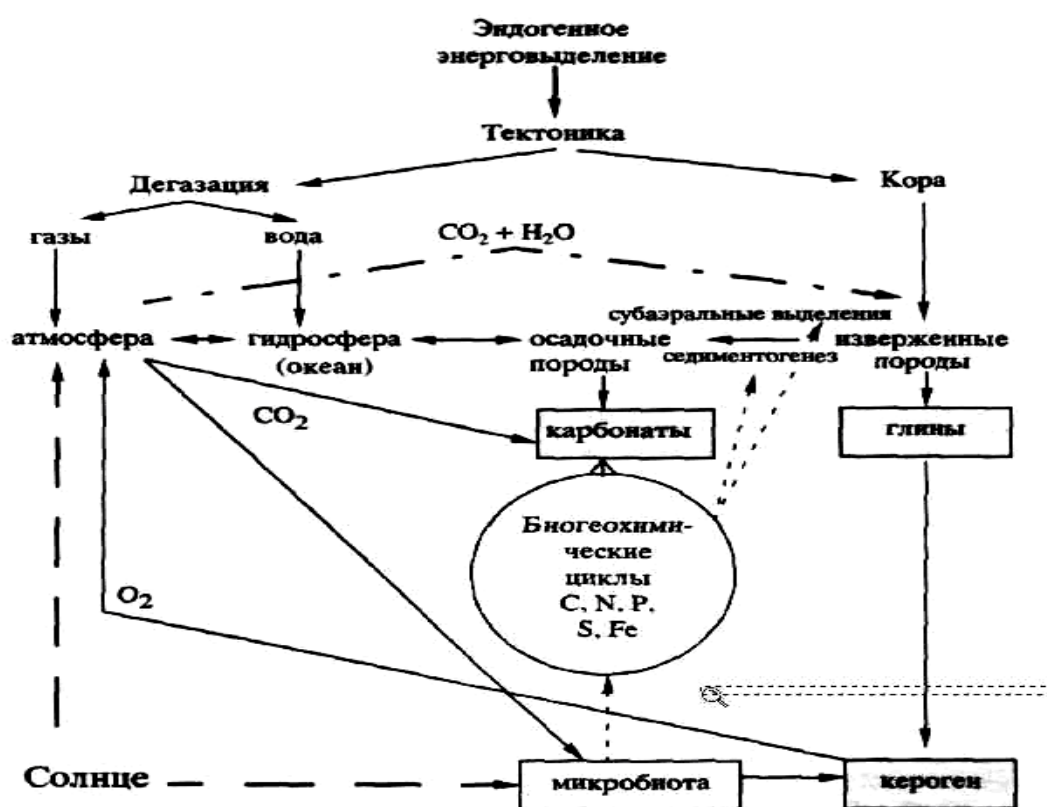


Рис.1. Взаимоотношение геосферной и биосферной систем

(по Г.А. Заварзину, [11, 12])

«Ключевым процессом служит субэаральное химическое выветривание, ведущее к формированию коры выветривания за счет реакции CO_2 с породами, конечным результатом которого служит образование обедненных катионами глин и соответствующих им

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

новообразованных карбонатов Ca и Mg. Реакция $MeSiO_3 + CO_2 = MeCO_3 + SiO_2$ считается основной для освобождения атмосферы от углекислоты дегазации и перевода ее в карбонатные породы осадков» [11].

Катионы в виде бикарбонатов с речным стоком выносятся в океан. Скорость абиогенных процессов углекислотного выветривания считается недостаточной для преобразования, и необходимо найти пути его ускорения (Schwartzman, 1999). Известно, что древние коры выветривания вплоть до раннего докембрия сходны с современными, что указывает на единство процессов в субаэральной оболочке Земли. Для формирования химического состава океана дополнительно к речному стоку значение имеет циркуляция воды через тонкую океаническую кору. Особое значение при этом играют узкие зоны спрединга, где серпентинитовый слой и листрические разломы являются основными зонами водообмена.

«Важнейшим звеном в рассматриваемой схеме служит формирование состава атмосферы под действием микробиоты (Заварзин, 1984). Кроме прямой продукции газов, влияние микробиоты определяется ее каталитическим воздействием через биогеохимические циклы на субаэральное химическое выветривание, седиментогенез, образование карбонатов, образование керогена. Образование керогена обуславливается скоростью его захоронения в тонкодисперсных осадках (глинах) и соответственно не только скоростью продукции Сорг, но и скоростью седиментогенеза с ключевым этапом - переходом в анаэробные условия (Tyson, 1995). Кероген в рассматриваемом масштабе времени ответственен за баланс по кислороду и, следовательно, за формирование оксической атмосферы» [5, 6, 12]. Область интересов бактериальной палеонтологии обозначена на рис. 1 блоками осадков.

Отложение карбонатов в эпоху исключительного господства бактерий происходило в их сообществах вне клеток, что хорошо документировано строматолитами.

«Бактериальный цикл кальция, оставивший геологические следы в виде карбонатных платформ докембрия, недостаточно понят. Основным последствием его явилось создание нейтральной среды в области развития биосферы (Заварзин, 2002). Геохимический цикл кальция резко изменился с появлением эвкариот, способных к отложению карбонатов внутри клетки под действием карбоанги-дразы, фермента, определяющего скорость установления карбонатного равновесия. Накопление карбонатов стало зависеть от растворения, а не от осаждения» [11].

Субаэральное химическое выветривание шпатов, как основного материала изверженных пород, ведет к образованию карбонатных и содовых условий по общей схеме (рис. 2).

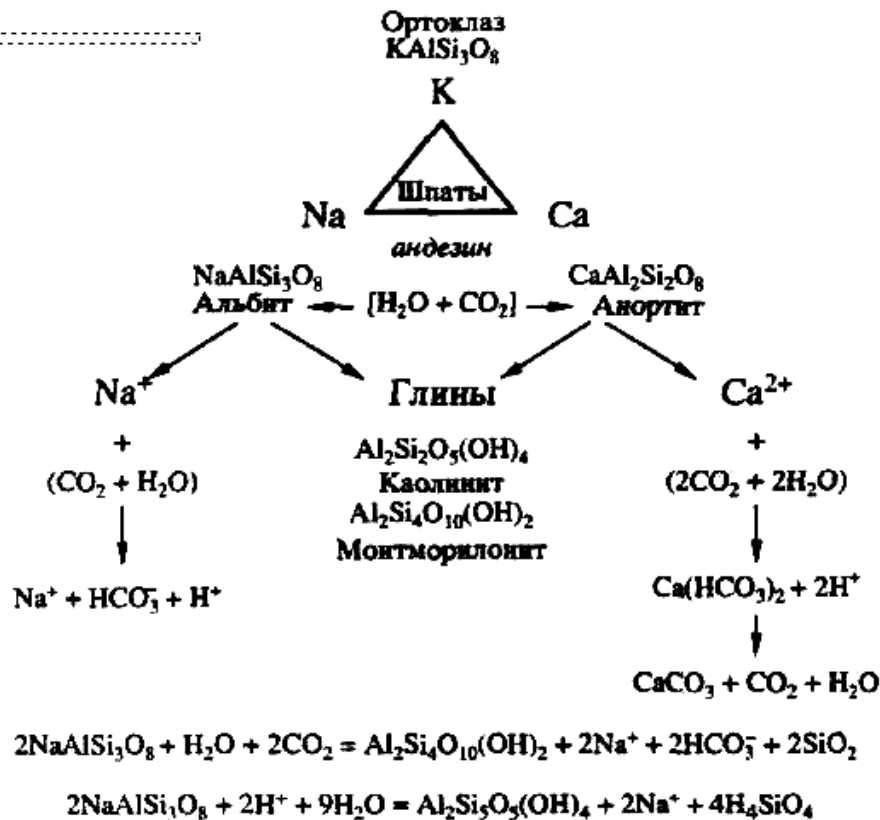


Рис 2. Схема формирования содовых вод или отложений карбонатов при химическом выветривании полевых шпатов [11]

«Биотическое влияние на химическое выветривание обусловлено универсальными механизмами метаболического образования H^+ и CO_2 , как представлено на рис. 2 репрезентативными реакциями. Следствием представленной схемы выветривания являются два пути образования субэаральных условий обитания микробиоты: кальциевый для нейтрофилов и содовый для алкалофилов. Содовые условия могут удерживаться при отсутствии промывного режима в теплых внутриконтинентальных областях "содового континента" в семиаридном климате. Отсюда специальный интерес к алкалофильной микробиоте содовых озер как аналогов континентальной биоты в ее противопоставлении морской талассофильной» [5, 6, 11] (Заварзин, 1993; Заварзин и др., 1999; Заварзин, Жилина, 2000). Отдельный вопрос представляет ее отношение к эпиконтинентальным морям талассократических эпох при взаимодействии в области экотона.

Прокариотная биосфера. «Главные изменения в геохимии планеты сводятся к формированию системы биогеохимических циклов, катализируемых бактериями. Циклы не полностью замкнуты и ведут к накоплению остаточных продуктов, которые обуславливают биогеохимическую сукцессию как центральное явление, определяющее судьбу биосферы. Конечным

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

результатом служит создание оксической атмосферы с замыканием цикла фотосинтеза дыханием. Деструкция мортмассы ведет к накоплению CO₂ в местах деструкции, что ускоряет углекислотное выветривание и, следовательно, связывание CO₂ горными породами в маршруте "изверженные породы — глины + карбонаты". Удаление CO₂ из атмосферы снижает парниковый эффект. Образование тонкодисперсных пород приводит к захоронению Сорг, который эквивалентен остаточному O₂ атмосферы. Отсюда маршрут "выветривание — седиментогенез" с захоронением керогена ответственен за образование кислородной атмосферы и оксических субаэральных условий, а маршрут "выветривание — карбонаты" - за создание нейтральной среды. Выветривание идет в субаэральных условиях на платформах, и геологическая летопись сводится к самоуничтожению следов процессов. Центральная роль процессов выветривания - седиментогенеза в преобразовании геосферы приводит к тому, что глубокий океан играет роль преимущественно физического резервуара растворенных веществ, поскольку цикл Сорг в нем замкнут. Отдельно следует рассматривать гидротермальные процессы на дне океана как источник газов и преобразования базальтов, включая их карбонатизацию. Седиментогенез локализован преимущественно в относительно мелководных водоемах. Поэтому необходимо признать гетерогенность географической оболочки Земли с областями интенсивных процессов преобразования на крупных геохимических барьерах и отказаться от попыток распространения данных по одному тафоценозу на всю планету» [7, 8, 12].

«Биотические процессы определяют цикл органического углерода. Ключевой реакцией служит образование биомассы при фотосинтезе, пропорциональное освещаемой дневной поверхности. Реакция ассимиляции с самого начала осуществлялась по рибулозобисфосфатному пути, как об этом можно судить по изотопному составу керогена древних пород с обогащением легким изотопом углерода близким 25 x 10⁻³. Какова была освещенная поверхность, пригодная для цианобактерий? По-видимому, она не сильно отличалась от суммы площадей воды и суши, занятых фитопланктоном и растениями в настоящее время. Цианобактериальный мат относится к биоценозам организмов с коротким жизненным циклом, быстро набирающим максимальную плотность до полного самозатенения, т.е. около 500-1000 мг хлорофилла/м². Отсюда можно заключить, что ассимиляция C-CO₂ составляла величину $p \times 10^2$ млрд. т C/год, где $p \sim 1-2$. При использовании современных значений для стока C-CO₂ в ~ 145 кг/1кг хлорофилла проективного покрытия растительного покрова необходимо сделать поправки на стадии стока углерода соответственно времени пребывания» [9, 11].

«Ключевым этапом для начала образования керогена в осадках фанерозоя служит переход из оксической в аноксическую зону с резким уменьшением скорости деструкции. Эта

концепция явно непригодна для ранних этапов эволюции геосферно-биосферной системы, поскольку в атмосфере не было O_2 . Кислородная обстановка тогда создавалась в экосистемах на короткое дневное время, и в плотных скоплениях водорослей она могла достигать 100% вблизи пузырьков газа. Соответственно бактерии в непосредственной близости от цианобактерий должны были обладать окситолерантностью, хотя бы к стрессовым воздействиям кислорода, а возможно, и быть "half time" аэробами. Круглосуточный аэробизм вряд ли имел место, а при стоке кислорода в океан создавались условия для микроаэрофилов, каковы многие водные микроорганизмы» [12].

«Ассимиляция CO_2 происходит в молярном отношении $CO_2:C_{орг}:O_2 = 1:1:1$ по реакции $CO_2 + H_2O = [CH_2O] + O_2$. Реакция ассимиляции уравнивается дыханием, осуществляющим обратную реакцию» [12].

«С циклом углерода связаны циклы азота и фосфора в отношении, определяемом их включением в биомассу. Для микробов отношение $C:N:P = 106:16:1$ » [12].

В современных условиях лимитирующим биогеном чаще всего служит связанный азот. В прокариотной атмосфере это было не так, поскольку многие прокариоты способны к ассимиляции N_2 , особенно в анаэробических условиях. Ассимиляция N_2 ведет к существенным дополнительным энергетическим затратам, но она не была безусловным ограничением. Таким образом, накопление связанного азота наряду с созданием кислородной атмосферы было необходимым предварительным условием для возможности появления эукариот-протист с фотосинтезом и дыханием как единственными путями метаболизма. Взаимодействие биогеохимических циклов показано на схеме (рис. 3).

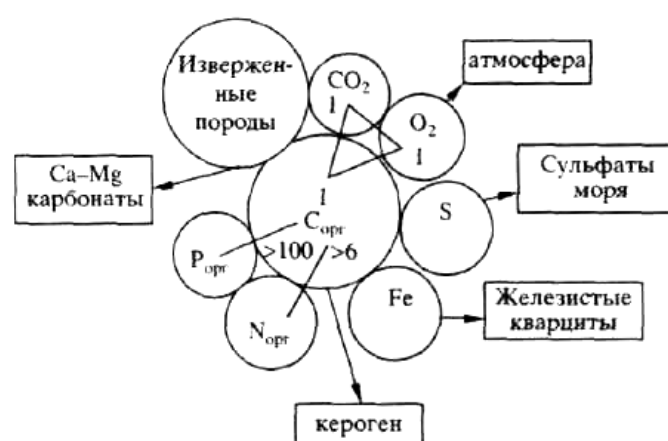


Рис.3. Сопряжение биогеохимических циклов с циклом органического углерода [по Заварзину, 8, 11]. Цифры означают молярное соотношение. Блоки соответствуют возникающим резервуарам

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

«Если цикл Сорг теоретически может быть замкнут растениями (водорослями в океане) и животными, то циклы N, S, Fe катализируются исключительно бактериями. Для цикла азота это цепь: азотфиксаторы - аммонификаторы - нит-рификаторы - денитрификаторы. Для цикла серы: сульфат и сероредукторы (сульфидогены) -серобактерии (анаэробные фототрофные и аэробные тионовые). Для цикла железа: аэробные железобактерии и анаэробные железоредукторы. В цикле Сорг в наземных условиях сейчас животные контролируют только 3% от потока углерода, роль основных деструкторов играют почвенные грибы и бактерии; в море положение иное вследствие первичных продуцентов с коротким жизненным циклом и зоотрофными организмами с более длительным временем пребывания Сорг в них по мере прохождения по пищевой пирамиде» [12].

Лимитирующим биогеном для синтеза биомассы был, вероятно, фосфор, который поступает в оборот в результате выветривания и выводится из регенерационного цикла деструкции реакциями с железом и кальцием. В условиях содового континента Fe и Ca связаны в нерастворимые соединения, и поэтому концентрация растворенного фосфора может быть выше. Роль цианобактериальных сообществ в образовании осадочных месторождений фосфоритов сейчас показана достаточно убедительно (Герасименко и др., 1999).

«В цикле органического углерода следует обратить внимание на события, связанные с резким облегчением до -40 и -50 промилль изотопного состава керогена (формации Фортезкью, ~2.7 млрд. лет, и Франсвилль, ~2 млрд. лет назад). Эти события интерпретируются как результат накопления биомассы метанотрофов, которые используют метилотрофный путь ассимиляции (Schidlowski, 2002). Если метан может иметь эндогенное происхождение и предположение о метановой атмосфере ранней Земли существует, то для метанотрофов необходим O₂, появление которого тогда надо отнести к очень раннему времени» [12].

Микробное сообщество. Для существования в течение геологического времени микробное сообщество должно быть устойчивым. Устойчивость сообщества определяется замыканием трофических связей в цикл таким образом, что конечным продуктом сообщества служит вещество или вещества, поступающие в трофическую цепь в качестве субстратов. Такое сообщество Заварзин называет автономным. В автономном сообществе действуют регенерационные циклы для биогенов. Регенерация осуществляется в результате деструкции [7]. Биологи называют результат деструкции "минерализацией", что не очень удобно для геологической микробиологии, где под минерализацией имеется в виду образование биогенных минералов. Неполная замкнутость циклов ведет к сукцессии. Не возвращенные в регенерационном цикле биогены поступают за счет пополняющих реакций, связанных с выщелачиванием

изверженных и осадочных пород.

Трофические связи в прокариотных сообществах были изучены на примере реликтовых сообществ. При их рассмотрении следует иметь в виду, что реликтовые сообщества развиваются в экстремальных условиях, отличных и от современной нормы, и от нормы прошлого. Каждое из этих сообществ может служить примером определенных геологических условий. Термофильные сообщества газогидротерм были использованы для моделирования трансформации продуктов вулканических эксгаляций в воздух (Заварзин и др., 1989). Галофильные сообщества, развивающиеся в местах образования эвапоритов, оказались наиболее удобными для исследования путей формирования строматолитов в талассофильных условиях (Заварзин и др., 1993). Новый подход представили сообщества содовых озер (Заварзин и др., 1999). Предполагается, что субаэральное выщелачивание должно вести хотя бы к временному образованию щелочных водоемов, которые таким образом могут служить моделью аталассо-фильных условий. Эти сообщества можно распределить по условному континенту: термофильные сообщества связаны с вулканизмом активного края, галофильные - с областью седиментации на пассивном крае, алкалофильные - относятся к интраконтинентальным областям.

«Все цианобактериальные сообщества "матов" построены по одному плану, обусловленному первичными продуцентами - цианобактериями. Они создают плотный слой на поверхности, который при толщине 1-2 мм полностью поглощает фотосинтетически активную радиацию. Под этим слоем располагается слой деструкции в 4-5 мм. В трофической цепи анаэробной деструкции преимущественное значение имеет продукт-субстратное взаимодействие, когда продукт одной группы организмов служит субстратом последующей. Трофическое взаимодействие между микроорганизмами определяется правилом минимального диффузионного расстояния. Наиболее выгодным оказывается построение сообщества из тонких слоев последовательно вступающих в дело группировок организмов. В результате получается тонкослоистая система в 1-4 мм. Поэтому парагистология матов, или их архитектура, универсальна, хотя виды организмов, занимающие каждую из функциональных ячеек в трофической системе, различны и приспособлены к своим топическим условиям» [10, 11]

«Трофическая система мата также имеет универсальную структуру с последовательностью определенных групп организмов, начиная с гидролитиков, разлагающих частицы морт-массы, и кончая вторичными анаэробами. Важным свойством этой системы оказался тот факт, что наиболее тесно трофически взаимодействующие группы организмов относятся к очень удаленным ветвям филогенетического дерева. Так, кластридии-гидролитики взаимодействуют с диссипотрофами-спирохетами. Те в свою очередь взаимодействуют с протеобактериями-сульфатредукторами или же с архебактериями-метаногенами. Отсюда следует вывод,

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

что сообщество сформировалось не путем дивергенции предковых форм, а было собрано из разнородных организмов, обладающих необходимыми функциями. Завербованные организмы не обязательно оптимальны, но обязательно совместимы с уже существующим сообществом. Совместимость с прошлым составляет принципиальную особенность аддитивной эволюции» [12].

«При рассмотрении трофической системы автономного сообщества важно, чтобы в результате деструкции получались вещества, служащие субстратами первичных продуцентов» [11,12]. Для аэробных организмов система представляет веер трофических маршрутов, считая, что для каждого компонента мортмассы есть специализированный деструктор, окисляющий белки, жиры, углеводы до углекислоты. Для анаэробного сообщества это не так. Здесь трофическая цепь работает как каскад реакций: гидролитики - первичные анаэробы - вторичные анаэробы. Конечными продуктами здесь оказываются либо метан в пресных условиях, либо сероводород в минерализованных водах. Соответственно необходимо установить пути регенерации этих продуктов в субстраты. В современной оксической атмосфере метан окисляется метанотрофами, сероводород - тионовыми и серобактериями. Альтернативным путем для метана служит его фотохимическое окисление, имеющее в современной атмосфере мощность 500 Мт в год. Как оно происходило в аноксической атмосфере - неясно. Сероводород может удаляться, связываясь с железом в сульфиды. Для ранней биосферы есть геологические свидетельства маршрутов от Fe(II) к $Fe_2O_3 + Fe_3O_4$ и от H_2S к H_2SO_4 , относящиеся к образованию железорудных формаций и сульфатов океана, причем каждый из них послужил за историю Земли стоком для 42-45% O_2 , рассчитанного как эквивалент керогена осадочных отложений.

«При рассмотрении трофической системы в аноксических условиях возможным путем замыкания циклов является деятельность аноксигенных фототрофов - пурпурных и зеленых бактерий. При этом так называемые "несерные фототрофы" способны использовать несбраживаемые продукты первичных брожений, а "серные фототрофы" - окислять сероводород в сульфаты. Таким образом, "пурпурные бактерии", относимые к началу филогенетического дерева, оказываются в конце трофической цепи, завершая процесс деструкции. Загадкой до последнего времени оставалось анаэробное окисление метана. Фототрофы к анаэробному окислению метана неспособны. Специалисты из Института морской микробиологии (Бремен) установили, что анаэробное окисление метана происходит синтрофно в консорциуме с участием метаногенов и сульфатредукторов. Им же принадлежит открытие фототрофного анаэробного окисления железа чистой культурой несерных пурпурных бактерий. Отсюда возникает

потенциальная возможность замыкания циклов железа и серы в аноксических условиях. Общую картину трофических взаимодействий в бактериальном сообществе с участием фототрофов можно представить сокращенной схемой» [9, 10] (рис. 4).



Рис.4. Положение фотоавтотрофов в трофической системе.

ЛЖК — летучие жирные кислоты [11]

Блок бактериальной деструкции на рис. 4 представлен в обобщенном виде, на самом деле он представляет кооперативное сообщество со сложными трофическими связями (Заварзин, Колотилова, 2001). Из схемы трофических отношений следует, что в современных сообществах аноксигенные фототрофы, которых филогенетики ставят в начало эволюционной линии, на самом деле замыкают путь деструкции с каталитической ролью серного цикла в анаэробных условиях. Возможно ли обращение этой схемы справа налево с аноксигенными фототрофами как первичными продуцентами, если H_2 и H_2S поступают извне из абиогенных источников? Для современных сообществ такие примеры неизвестны.

Становление биогеохимических циклов. «Для становления биогеохимических циклов необходимо участие разнообразных групп прокариот, взаимодействующих друг с другом. Реакции геохимических циклов сопряжены друг с другом в единую систему. Прокариоты осуществляют катализ важных геохимических реакций, при относительно малом вкладе собственной биомассы. Их концентрационная функция в отличие от скелетных организмов мала и связана с биологически опосредованными реакциями, когда деятельность микроорганизмов приводит к созданию условий, в которых образуются минералы, такие как карбонаты, сульфиды, окислы железа, фосфаты, отложения которых установлены в ранние периоды истории Земли» [12]. Противопоставление преимущественно каталитической активности микробной

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

системы и концентрационной деятельности биоты, на которую ориентировался Вернадский, существенно для прокариотной биосферы. Циано-бактерии, казалось бы, способные развиваться независимо от других организмов, имеют два существенных ограничения. Во-первых, они неспособны развиваться в условиях повышенного содержания O₂ выше 20%, что служит для них пределом самоотравления продуктами. Лучше они растут в аноксических или даже восстановительных условиях. Во-вторых, они неспособны осуществлять регенерационный цикл, для которого необходима описанная выше кооперативная система микроорганизмов.

Из необходимости циклов Вернадский сделал вывод, к которому полностью должен присоединиться микробиолог, занимающийся функциональным разнообразием: невозможно построить устойчивую систему на монофилетическом основании. Универсальный предок не может существовать, поскольку он представлял бы собой "вечный двигатель", даже будучи фототрофом - автотрофным днем и гетеротрофным ночью. Представление об "универсальных предках" логически противоречиво. Изначальная группировка микроорганизмов должна была быть разнородной и функционально комплементарной. Иные группировки не могли быть устойчивыми и существовать в течение геологически длительного времени. Этим требованиям отвечает цианобактериальное сообщество. Бактериальная палеонтология в общем, со всеми ссылками на неполноту геологической летописи, на трудность идентификации функции по микрофоссилиям, подтверждает вывод о древности цианобактериального сообщества (Сергеев и др., 2002). Топология филогенетических бескорневых деревьев указывает на циано-бактериальную группировку как на "сердцевину подсолнечника", из которой радиусами расходятся линии (Zavarzin et al., 1990). Но сила этого аргумента ослабляется тем обстоятельством, что молекулярно-биологическая классификация построена на основании ныне живущих бактерий, которые совместимы с кислородными первичными продуцентами.

«Существенно, что прокариотная система самодостаточна и для поддержания собственного существования в течение неопределенно долгого времени (фактически - в течение всей геологической истории Земли), для осуществления биогеохимической сукцессии, составляющей историю биосферы и суть ее эволюции» [12]. Усложнение организмов в их филогенетическом пути происходит в условиях сложившейся и стабилизированной прокариотной биосферы с модификацией некоторых реакций за счет морфологического усложнения, в первую очередь транспорта. Можно рассматривать три этапа эволюции: обмен небольшими участками мозаичного генома у прокариот, системную комбинаторику эндосимбиоза у протист, генеалогическую картину последовательного усложнения близкого к монофилетическому дарвинистскому дереву сложных организмов (Заварзин, 2002). Переходу к эукариотным протистам с

фаготрофным питанием должно было предшествовать появлению цитологически парадоксального "фаготрофного прокариота" (Cavalier-Smith, 2002), и лишь за этим последовали симбиогенетические события [10].

«Применение актуалистического подхода к прошлому предполагает персистентность организмов и служит постоянным источником возражений со стороны генетиков, утверждающих, что нельзя говорить об идентичности морфологически сходных организмов, особенно прокариот, например трихомных цианобактерий и серобактерий. Однако противоположное утверждение о различии между древними и нынешними организмами автоматически отправляет в корзину все филогенетические деревья, построенные на основе гомологии последовательностей участков генома современных организмов. Вряд ли это вполне разумно» [10,11].

"Коротко нужно отвлечься на описание выпадающих из общей картины эволюции прокариотной биосферы глубинных гидрогенотрофных хемосинтезирующих организмов. Источником питания для них служат дающие водород реакции воды с перегретыми горными породами. Проблему составляют акцепторы электрона, которыми могут служить углекислота или соединения серы. Продуктами обмена глубинных микроорганизмов являются соответственно метан или сероводород. Выгодная область развития этих организмов, связанных с перегретыми породами, - зона конденсации воды над магматическими очагами. Поэтому многие из них относятся к гипертермофилам. Группировка хемосинтезирующих микроорганизмов, не зависящих от солнечного света, безусловно принадлежит к древнейшей и реликтовой в полном смысле слова. Но гидрогенотрофные организмы находятся в стороне от магистрального пути эволюции биоты. Их важной функцией могло быть связывание водорода, который не мог диссипировать в космос и приводить к окислительной гибели планеты, как это произошло на Марсе и Венере. Такая обратная связь от микробиоты к геосфере пока не была рассмотрена" [5,6].

Следует заметить, что термофильных кислородных фототрофов нет, верхний предел их развития лежит между 60-70°C, в то время как нижний предел лежит около 0°C, что существенно для цикла органического углерода.

Следует заметить, что термофильных кислородных фототрофов нет, верхний предел их развития лежит между 60-70°C, в то время как нижний предел лежит около 0°C, что существенно для цикла органического углерода.

На поверхности Земли изначально для геологической истории действовало микробное сообщество, сопрягающее циклы CO₂, O₂, C, орг, N, P, S, Fe в реакциях, связанных с синтезом биомассы и катаболизмом микроорганизмов, а также осуществляющее преобразование алюмосиликатных пород, кальция, магния, кремния - в биологически опосредованных

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

реакциях. Циклы азота, серы, железа, в которых участвуют специфические функциональные группировки прокариотных микроорганизмов, здесь не разбирались, точно так же, как реакции фосфора. Они достаточно хорошо известны в природоведческой микробиологии.

«Прокариотная биота эволюционировала на основе комбинаторного перераспределения экологически значимых функций между филогенетически различными организмами, условием выживания для которых было занятие функциональной ниши в существующей системе отношений в сообществе. Морфологические приспособления при этом также имели значение: трихомные организмы приурочены к илу, мицелиальные - к суб-аэральнoй среде. Гео-сферно-биосферная система в целом эволюционировала за счет биогеохимической сукцессии как главной движущей силы, ведущей к изменению среды обитания. Наиболее устойчивым временем существования был мезо-протерозой, с окончанием которого и становлением биосферных циклов современного типа сложились предпосылки для субститутивной эволюции с ключевой ролью первичных продуцентов - водорослей, а затем и наземных растений. Дальнейшая эволюция биоты путем интегративного симбиогенеза и последующего усложнения вела к сужению базы жизни для высших форм и ограничению ее "нормальными" условиями. Поддержание всей геосферно-биосферной системы было возможно лишь за счет сохранения системы трофических отношений прокариот как основы биосферы. Появление фаготрофного питания протист, а затем "Parazoa", укоротило пути деградации взвешенного органического вещества. При этом большую роль играли симбиотические отношения хозяев с инкорпорированным микробным сообществом. У зоотрофных животных, способных питаться живыми фототрофными продуцентами, они достигли максимума с образованием микробного сообщества в пищеварительном тракте» [5,6].

ВЫВОДЫ

1. В результате открытий последних десятилетий, которые можно отнести к бактериальной палеонтологии в широком смысле слова, представления об эволюции геосферно-биосферной системы дали основу новому мировоззрению, в котором большее значение придается кооперативным взаимоотношениям в рамках большой системы. В этом отношении рассмотренная система находится вне области традиционных для биологов популяционных пределов, составляющих основу дарвинизма. Одномоментность как необходимое условие взаимодействия возвращает рассмотрение к географической системе А. Гумбольдта. [11].

2. Деятельность микробиоты в рамках сопряженных микробиогеохимических циклов, обеспечила раннее осадконакопление в виде строматолитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградский С.Н. Круговорот жизни (1896) // Вести. РАН. 1996. Т. 66. № 12. С. 1115-1120.
2. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Журн. общ. биол. 1999. Т. 60. № 4. С. 415-430.
3. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. 193 с.
4. Заварзин Г.А. Эпиконтинентальные содовые водоемы как предполагаемые реликтовые битопы формирования наземной биоты // Микробиол. 1993. Т. 62. № 5. С. 789-800.
5. Заварзин Г.А. Становление биосферы // Вести. РАН. 2001. Т. 71. № 11. С. 988-1001.
6. Заварзин Г.А. Роль комбинаторных событий в развитии биоразнообразия // Природа. 2002. № 1. С. 12-19.
7. Заварзин Г.А., Герасименко Л.М., Жилина Т.Н. Циано-бактериальные сообщества в гиперсоленых лагунах Сиваша // Микробиол. 1993. Т. 62. № 6. С. 579-599.
8. Заварзин Г.А., Жилина Т.Н. Содовые озера как природная модель древней биосферы // Природа. 2000. № 2. С. 44-55.
9. Заварзин Г.А., Жилина Т.Н., Кевбрин В.В. Алкалофильное микробное сообщество и его функциональное разнообразие // Микробиол. 1999. Т. 68. № 5. С. 503-521.
10. Заварзин Г.А., Карпов Г.А., Горленко В.М. и др. Кальдерные микроорганизмы. М.: Наука, 1989. 120 с.
11. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: МГУ, 2001.
12. Заварзин Г.А. Становление системы биогеохимических циклов, 2003 г.
13. Сергеев В.Н., Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. Протерозойская история цианобактерий и их современное состояние // Микробиол. 2002. Т. 71. № 6. С. 725-740.
14. Сорохтин О.Г., Ушаков С.Д. Развитие Земли. М.: МГУ, 2002.
15. Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Историческая геология. М.: МГУ, 1997.
16. Cavalier-Smith T. The phagotrophic origin of eukaryotes and phylogenetic classification of Protozoa // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2002. V. 52. P. 297-354.
17. Franch S., Bounama C. Effects of water-dependent creep rate on the volatile exchange between mantle and surface reservoirs // Phys. Earth and planetary interiors, 1995, V. 92, P. 57-65.
18. Lovelock J.E. The ages of Gaia - a biography of living Earth (2d ed.). Oxford: Oxford Univ. Press, 1995.

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

19. Schidlowski M. Sedimentary carbon isotope archives as recorders of early life: implications for extraterrestrial scenarios // *Fundamentals of life* / Eds. G. Palyi, C. Zucchi, L. Caglioti, Amsterdam: Elsevier, 2002, P. 307-329.

20. Schwartzman D.W. *Life, temperature and the Earth: the self-organizing biosphere*, N.Y.: Columbia Univ. Press, 1999.

21. Tyson R.V. *Sedimentary organic matter: Organic facies and palinofacies*, L.: Chapman and Hall, 1995, 615 p.

22. Westall F., de Wit M.J., Dann J., et al. Early Archean fossil bacteria and biofilms in hydrometally-influenced sediments from the Barberton greenstone belt, South Africa // *Precambrian Res.*, 2001, V. 106, P. 93-116.

23. Zavarzin G.A., Stackebrandt E., Murray R.G.E. A correlation of phylogenetic diversity in the Proteobacteria with the influences of ecological forces // *Canad.J.Microbiol.*, 1990, V. 37, P. 1-6.

REVIEW OF G.A. ZAVARZIN'S WORKS ON THE TOPIC "THE GLOBAL ROLE OF MICROBIOTA IN THE EXOGENOUS HISTORY OF THE EARTH"

O.P. Ivanov, Candidate OF Geological Sciences, V.N.S. MZ MSU

Annotation. The end of the 20th and the beginning of the 21st century were marked by the successes of bacterial introduced. This concept paleontology, ideas about the evolution of the geosphere-biosphere system were replaced the term Biosphere according to V.I. Vernadsky. At the same time, these achievements provide an opportunity to take a fresh look at the nature of the earliest exogenous processes in geology. In geology, it is traditionally believed that exogenous processes are the result of the influence of external subsystems through parameters: solar heating, climatic effects of frost, wind, rain, dissolution and leaching by underground and flowing waters on the Earth's crust system. With the introduction of the concept of geospheric - biogenic system, the emphasis should be shifted or supplemented with the concept of exogenous microbiota impact. There are enough reasons for this. According to G.A. Zavarzin, the entire primary microbiota forms almost closed cycles, you see.

Keywords: biosphere, Geosphere, complex systems, consistency, evolution.

REFERENCES

1. Vinogradsky S.N. *The Cycle of Life* (1896) // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 1996. Vol. 66. No. 12. Pp. 1115-1120.

2. Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. The Role of Cyanobacteria in the Formation of Phosphate Minerals // *Journal of General Biology*. 1999. Vol. 60. No. 4. Pp. 415-430.
3. Zavarzin G.A. *Bacteria and the Composition of the Atmosphere*. Moscow: Nauka, 1984. 193 p.
4. Zavarzin G.A. Epicontinental Soda Water Bodies as Hypothetical Relict Habitats for the Formation of Terrestrial Biota // *Microbiology*. 1993. Vol. 62. No. 5. Pp. 789-800.
5. Zavarzin G.A. The Formation of the Biosphere // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2001. Vol. 71. No. 11. Pp. 988-1001.
6. Zavarzin G.A. The Role of Combinatorial Events in the Development of Biodiversity // *Nature*. 2002. No. 1. Pp. 12-19.
7. Zavarzin G.A., Gerasimenko L.M., Zhilina T.N. Cyanobacterial Communities in Hyperhaline Lagoons of Sivash // *Microbiology*. 1993. Vol. 62. No. 6. Pp. 579-599.
8. Zavarzin G.A., Zhilina T.N. Soda Lakes as a Natural Model of the Ancient Biosphere // *Nature*. 2000. No. 2. Pp. 44-55.
9. Zavarzin G.A., Zhilina T.N., Kevbrin V.V. Alkaliphilic Microbial Community and Its Functional Diversity // *Microbiology*. 1999. Vol. 68. No. 5. Pp. 503-521.
10. Zavarzin G.A., Karpov G.A., Gorlenko V.M., et al. *Calderan Microorganisms*. Moscow: Nauka, 1989. 120 p.
11. Zavarzin G.A., Kolotilova N.N. *Introduction to Environmental Microbiology*. Moscow: Moscow State University, 2001.
12. Zavarzin G.A. *The Formation of the Biogeochemical Cycle System*, 2003.
13. Sergeev V.N., Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A. Proterozoic History of Cyanobacteria and Their Current State // *Microbiology*. 2002. Vol. 71. No. 6. Pp. 725-740.
14. Sorokhtin O.G., Ushakov S.D. *The Development of the Earth*. Moscow: Moscow State University, 2002.
15. Hain V.E., Koronovsky N.V., Yasamanov N.A. *Historical Geology*. Moscow: Moscow State University, 1997.
16. Cavalier-Smith T. The Phagotrophic Origin of Eukaryotes and Phylogenetic Classification of Protozoa // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2002, Vol. 52, Pp. 297-354.
17. Franch S., Bounama C. Effects of Water-Dependent Creep Rate on the Volatile Exchange Between Mantle and Surface Reservoirs // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1995, Vol. 92, Pp. 57-65.

**Обзор работ Г.А. Заварзина по теме:
«Глобальная роль микробы в экзогенной истории Земли»**

18. Lovelock J.E. The Ages of Gaia - A Biography of Living Earth (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press, 1995.

19. Schidlowski M. Sedimentary Carbon Isotope Archives as Recorders of Early Life: Implications for Extraterrestrial Scenarios // Fundamentals of Life / Eds. G. Palyi, C. Zucchi, L. Caglioti, Amsterdam: Elsevier, 2002, Pp. 307-329.

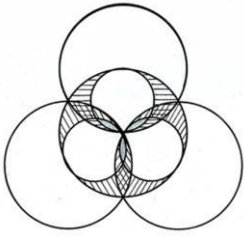
20. Schwartzman D.W. Life, Temperature and the Earth: The Self-Organizing Biosphere, New York: Columbia University Press, 1999.

21. Tyson R.V. Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palinofacies, London: Chapman and Hall, 1995, 615 p.

22. Westall F., de Wit M.J., Dann J., et al. Early Archean Fossil Bacteria and Biofilms in Hydromemally-Influenced Sediments from the Barberton Greenstone Belt, South Africa // Precambrian Research, 2001, Vol. 106, Pp. 93-116.

23. Zavarzin G.A., Stackebrandt E., Murray R.G.E. A Correlation of Phylogenetic Diversity in the Proteobacteria with the Influences of Ecological Forces // Canadian Journal of Microbiology, 1990, Vol. 37, Pp. 1-6.

УДК 57.047; 512.734



СОКРАЩАЮЩИЕСЯ ЦИКЛЫ В СЛОЖНОСТИ ОТ БИОТИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ

Фомин А.А., lesha74@rambler.ru

Аннотация. Показано, что в числе типов клеток, которыми обладают те или иные биологические таксоны, если его рассматривать как функцию времени их появления, имеются сокращающиеся по времени циклы (от цикла к циклу, примерно, в одно и то же количество раз). Причём такие, что если их экстраполировать в исторические времена, то они могут совпасть с некоторым другим (историческим) показателем своего рода сложности – с индексом специализированного управления государства.

Ключевые слова: сокращающиеся циклы, число типов клеток, биотические циклы, социально-экономические циклы, индекс специализированного управления.

ПРЕДПОСЫЛКИ

В [1] О.В. Ивановым было, явно или неявно, предложено использовать сложность как управляющий параметр, объединяющий социальную и биологическую эволюцию и связанный с ускоренным характером эволюции. И, явно или неявно, была предложена, своего рода, периодизация, которая демонстрировала ускоренный характер эволюции. И, в целом, сопровождавшаяся ростом сложности. Для биологической эволюции это прокариоты, эукариоты, низшие многоклеточные, ... Для социальной эволюции там была рассмотрена, такая последовательность циклов как неолитический, восточно-рабовладельческий, античный, раннефеодальный, ...

В этой статье этот подход – конкретизируется. Приводится иллюстрация идеи ускоренного характера эволюции в более явно-циклическом виде: в виде сокращающихся циклов в сложности. В качестве сложности во времена биотической эволюции, как и в [1] рассматривается число типов клеток у соответствующих таксонов. Для реконструкции эволюции этой сложности использованы, в основном, молекулярные данные по времени возникновения соответствующих биологических таксонов, а также данные по числу типов клеток у современных представителей этих таксонов из [1, 2].

А в качестве сложности для времён социально-экономической эволюции использован индекс специализированного управления государства из [8], характеризующий число

Сокращающиеся циклы в сложности от биотической эволюции до социально-экономической

государственных институтов. Это, своего рода, сложность государства, аналог числа типов клеток, но для государства: разные институты управления государства как разные типы его «клеток».

ЧИСЛО ТИПОВ КЛЕТОК

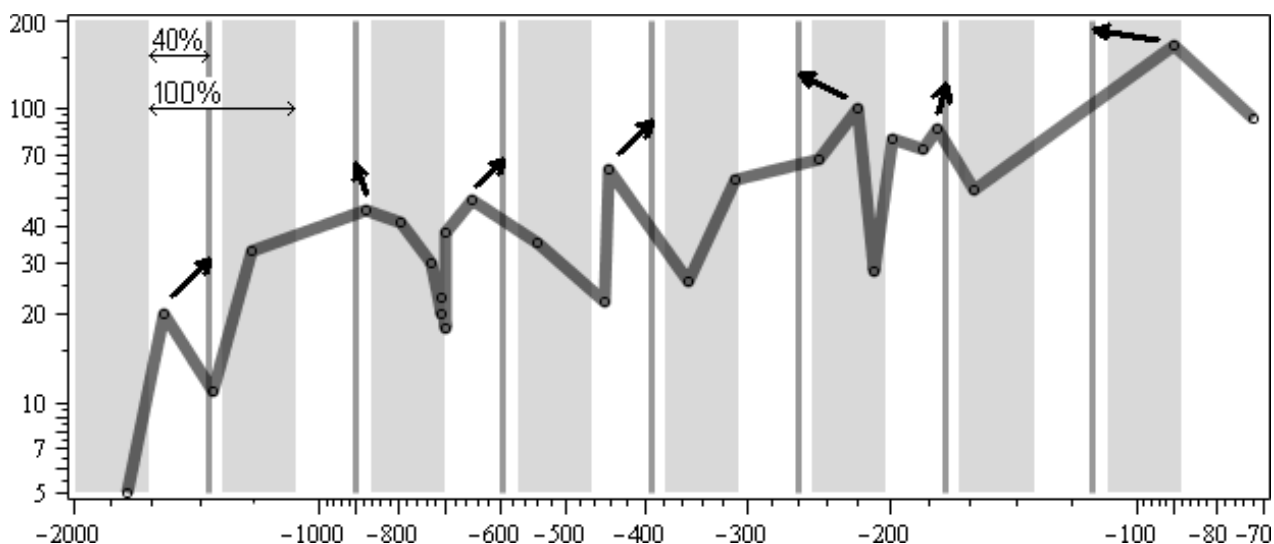


Рис.1. Сокращающиеся циклы в числе типов клеток у современных таксонов как функция момента их появления, полученном по данным анализа ДНК (кроме моллюсков – по палеонтологическим) как время жизни последнего общего предка современных их представителей. Оси - логарифмическая шкала. Абсцисс: -1717 — -72 календарные млн. л. Если взять вместо отрицательных значений модуль, то получится млн. л. до н.э. Точки слева направо: 1) Грибы, 2) Кишечнополостные, 3) Губки, 4) Кольчатые черви, 5) Головохоботные, 6) Оболочники, 7) Иголокожие, 8) Мхи, 9) Папоротникообразные, 10) Нематоды, 11) Членистоногие, 12) Бесчелюстные, 13) Моллюски, 14) Плаунообразные, 15) Двоякодышащие рыбы, 16), Голосеменные, 17) Костистые рыбы, 18) Безногие амфибии, 19) Млекопитающие, 20) Покрытосеменные, 21) Бесхвостые амфибии, 22) Хвостатые амфибии, 23) Рептилии, 24) Акулы, 25) Приматы, 26) Птицы. Используются все таксоны (на рассмотренном интервале), для которых в [1] (оцифровка там рис. 1) и в [2] (оцифровка рис. 11.1) было приведено число типов клеток. Чередование светлая-тёмная полосы – некоторый цикл. В логарифмическом масштабе абсцисс они выглядят постоянно периодическими. Но сокращаются: от цикла к циклу, примерно, в 1,51 раза

По мере биотической эволюции, рост числа биологических таксонов сопровождается и ростом сложности их организации. Что выражается в росте числа разных типов клеток. Каково

было число типов клеток у того или иного таксона в момент его возникновения (например, у млекопитающих) по палеонтологическим данным установить – нельзя. Но можно, ориентировочно, оценить это число по современным таксонам и сопоставить с моментом возникновения соответствующего таксона. Получившийся график не будет отражать динамику числа типов клеток. Т.к. с момента возникновения того или иного таксона число типов клеток у него, наверняка, росло. Однако, можно ожидать, что у такого графика обнаружатся колебания, которые идут, примерно, в такт с колебаниями аналогичного графика, построенного в случае, если бы мы знали реальное число типов клеток на момент возникновения соответствующего таксона.

Кризисные процессы способствуют деградации относительно сложных структур и, по идее, могут способствовать возникновению таксонов с относительно малым числом типов клеток. Это должно работать на то, что колебания этого графика будут содержаться циклы, идущие в такт с соответствующими биотическими циклами.

То, что получилось для динамики числа типов клеток, как функции времени возникновения соответствующего таксона, показано на рис. 1.

На рис. 1 отчётливо видны циклы. Они как раз и иллюстрируют ускоренный характер биотической эволюции, о чем речь вёл Р.П. Иванов в [1].

Полосы рис. 1 – это некоторое забегание вперёд, результат ещё не опубликованного, масштабного, исследования [7]: это – идеализация биотических циклов (в пренебрежении тем, что они не идут так идеально). Тёмные полосы – это вторые их кризисные половины. Где как раз, в среднем, число типов клеток и имеет тенденцию падать (кризис, деструкция, разрушение былых системных связей).

Если грубо (пренебрегая флуктуациями), то светлые полосы – это биотические (под революции - относительно массовый рост биоразнообразия. Тёмные полосы - кризисные периоды (замедление и/или спад в биоразнообразии). В этой связи выглядит не случайно то, что сложность (число типов клеток) имеет тенденцию расти (в среднем), примерно, на светлых полосах и снижаться - на тёмных. Т.е. в кризис - разрушение/снижение (как, например, сейчас на Украине - из-за кризиса идёт разрушение институтов государства).

Впервые, наткнулся на такого рода циклы, изучая демографию. Там – тоже есть сокращающиеся циклы - в мировом народонаселении [4]. Если эти циклы экстраполировать в прошлое, то они начинают совпадать/коррелировать с некоторыми доисторическими циклами. Например, в неравенстве по объёму мозга у гоминид [3, 5]. Что сопровождается некими разными, типичными, циклическими социально-экономическими явлениями. Если экстраполировать ещё глубже в прошлое (до гоминид), то там, по разным показателям, тоже видны свои аналоги таких циклов. Например, в ранговом распределении палеонтологических морских

родов [6].

Если смотреть качественно, то можно обратить внимание, что каждый из этих циклов состоит из трёх подциклов (с аналогичными проявлениями, но в более мелком масштабе) [7]. Но демографических данных, толком, не хватает, чтобы увидеть эти циклы. Можно попробовать экстраполировать эти циклы в прошлое в надежде на то, что там будут какие-то другие, более надёжные данные - биотические. Которые эти циклы позволят увидеть явно. И в палеонтологическом биоразнообразии эти циклы оказалось возможным увидеть более явно [7]. Рис. 4 является одним из показателей такой цикличности.

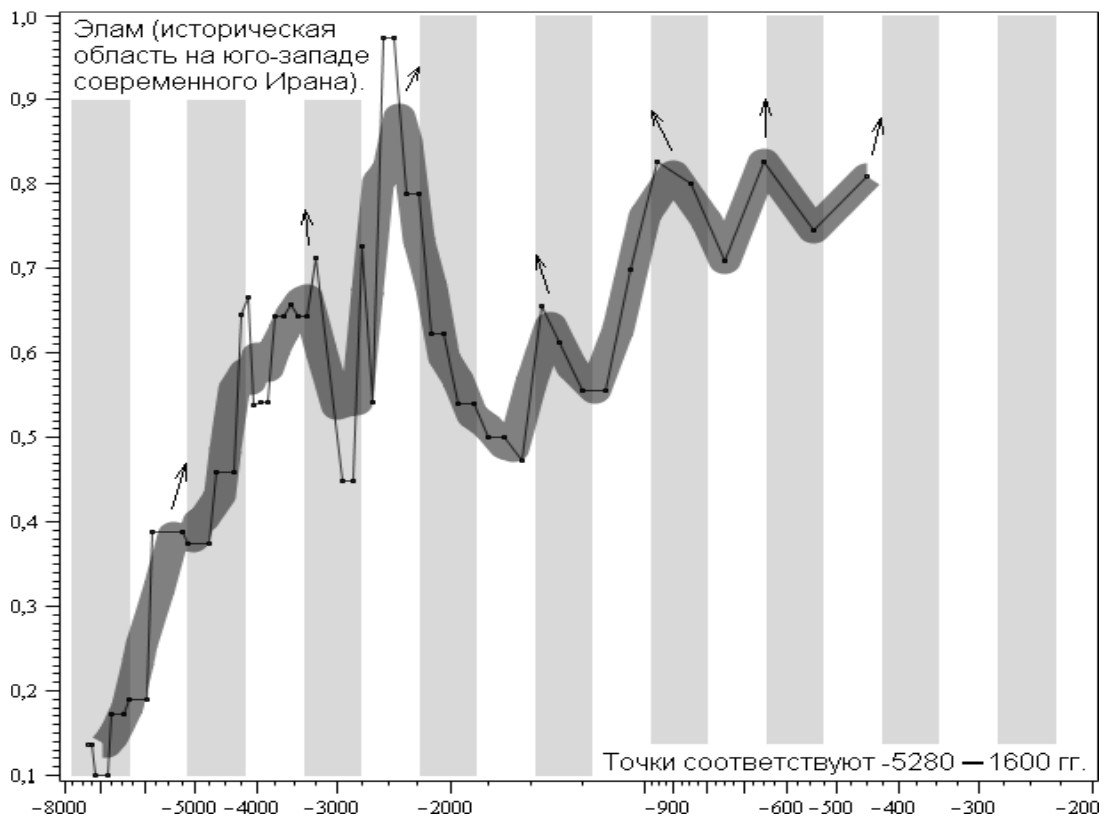
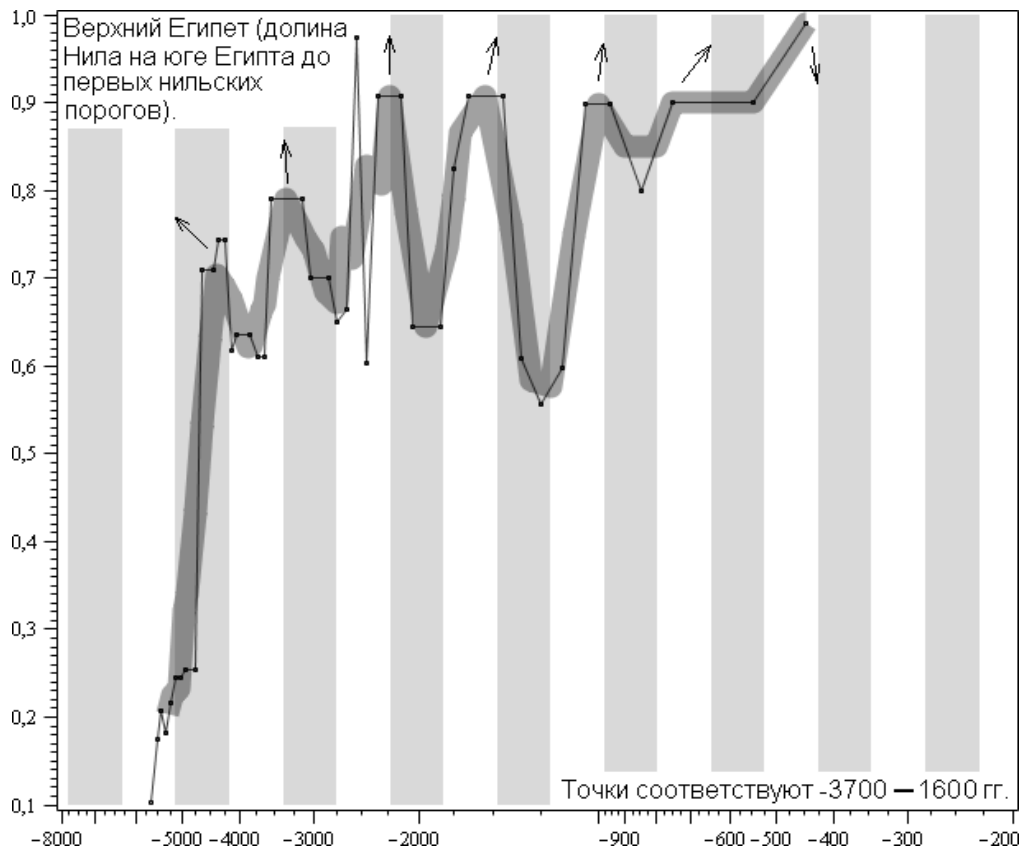
Чисто формально, полосы рис. 1 получены так. Динамика народонаселения Земли описывалась гиперболой с наложенными на неё некоторой колебательной составляющей, описывающей сокращающиеся циклами (от цикла к циклу в одно и то же количество раз) [4]. Потом, если, чисто математически, разбить каждый период этой колебательной составляющей на три подцикла (фазы), то тёмные полосы рис. 1 – это и есть вторые половины этих фаз.

Грубо говоря, в [4] постулировано, что эти циклы существуют, и делается экстраполяция их идеальной параметризации во «все» стороны и смотрятся разные корреляции. Не только с биоразнообразием. Например, фазы видны в филогенетических деревьях (например, млекопитающих), построенные по молекулярному анализу. Видны в динамике числа ветвей этого дерева. Равно как и по многим разным качественным характеристикам. В результате, полосы рис. 1 явились результатом многостороннего исследования очень разных эволюционно-биотических проявлений.

ИНДЕКС СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

И если рассмотреть их экстраполяцию в исторические времена, то можно увидеть корреляцию с индексом специализированного управления. Для управления обществом в государстве существуют разные институты управления, функционирующие благодаря бюрократии (например, армия, суд и др.). В (Turchin P. et al. 2018a) использована специальная величина, характеризующая развитость этих институтов в некоторых эволюционно-ключевых регионах мира (в рамках вполне определённых пространственных границ для каждого из них). Она и названа индексом специализированного управления. В целом, этот индекс характеризует степень развитости государственности. Соответственно, в кризисные периоды имеет тенденцию падать (разрушение государственных структур), а в периоды экономического роста – расти.

На рис. 2 индекс приведён для ряда ключевых регионов мира. Как видно, в этом индексе видны всё те же сокращающиеся циклы.



Сокращающиеся циклы в сложности от биотической эволюции до социально-экономической

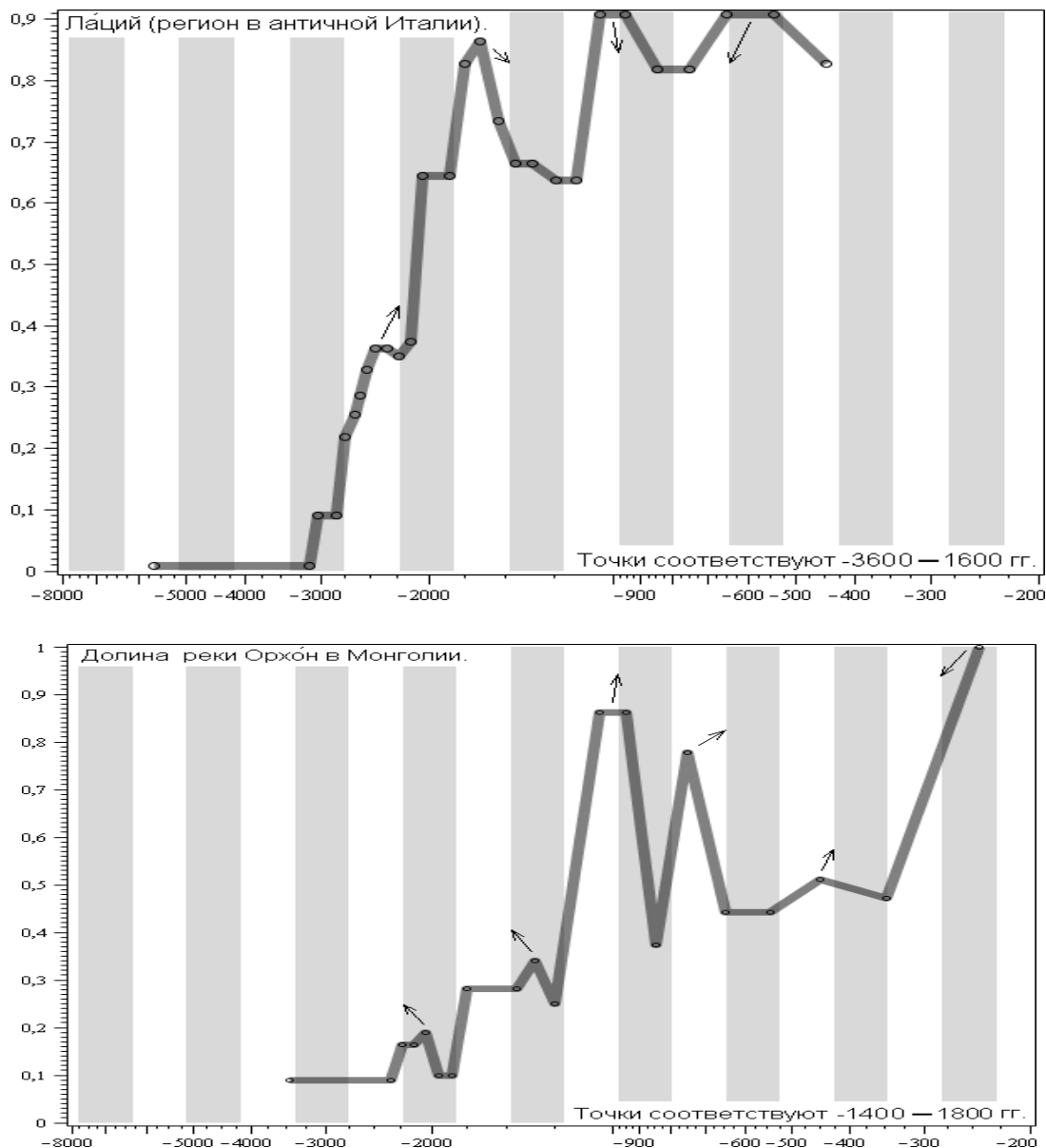


Рис.2. Сокращающиеся циклы в индексе специализированного управления. Абсцисс (логарифмическая шкала): годы с началом отсчёта в точке обострения - в 2048 г., когда частота этих циклов, формально, обращается в бесконечность. Тёмные полосы - те же сокращающиеся в 1,51 раза циклы, что и на рис. 1. Толстые ломаные (Иран, Египет) – скользящее среднее точек¹. Исходные данные: [8] (оцифровка Fig. 2)

ИТОГ

Если для времён биотической эволюции (рис. 1) светлые полосы означали биотические

¹ Усреднение по всевозможным интервалам времени, выглядящим как одинаковые в логарифмической шкале абсцисс, и касающимися одной из своих граней датировок одной из точек, не выходя за общий диапазон точек (длительнейший интервал: 700 и 900 л. для Египта и Элама соответственно).

(под) революции, то для времён социально-экономической революции (рис. 2) они означают времена технологических (под) революций. Если рассмотреть экстраполяцию циклов рис. 2, то они, примерно, совпадут с кондратьевскими циклами [7]. Но в обоих случаях на светлых полосах имеет тенденцию расти сложность, а на тёмных - падать. И в обоих случаях циклы сокращаются и вторым половинам циклов свойственны кризисные явления. Потому и сложность на них - сокращается.

Т.е. более строго подтверждается явная или неявная идея О. П. Иванова [1] о том, что сокращающиеся циклы в длительности социально-экономических формаций являются аналогами сокращающихся циклов в развитии числе типов клеток. Подтверждается в прямом, наглядном смысле: биотические циклы (рис. 1) прямым образом перерастают в социально-экономические (рис. 2). И в обоих случаях они связаны с циклическим развитием сложности. Т.е., как и предполагалось в [1], управляющим параметром может выступать сложность.

В [7] подробно исследованы и все циклы между циклами рис. 1 и рис. 2: там они, действительно есть. Т.е. там, действительно, циклы биотической эволюции постепенно перерастают в циклы социально-экономической эволюции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О. П. 2002. Глобальные экологические проблемы и эволюция. Сборник: Глобализация: синергетический подход. Стр. 153-156, Место издания: РАГС Москва, <https://spkurdyumov.ru/globalization/globalnye-ekologicheskie-problemy-i-evolyuciya/>;
2. Рэфф Р. А., Кофмен Т. К. 1986. Эмбрионы, гены и эволюция. Пер. с англ. - М.: Мир, 404 с., https://royallib.com/book/reff_rudolf/embrioni_geni_i_evolyutsiya.html;
3. Фомин А. А. 2015. Циклы в неравенстве объёма мозга гоминид: (?) прямая эволюционная связь с современными циклами имущественного неравенства. Тезисы докладов VII Российского философского конгресса;
4. Фомин А. А. 2018. О синтезе двух математических методов описания социально-экономической эволюции. Альманах История и математика. Мегаисторические аспекты. Отв. ред. Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Волгоград: Учитель, https://www.socionauki.ru/upload/socionauki.ru/book/files/iim_11_/205-244.pdf, http://www.unn.ru/books/met_files/Mironos.pdf;
5. Фомин А. А. 2018. Циклы неравномерности мирового социально-экономического развития могут быть не моложе человека. Прямая эволюционная преемственность с современностью // Альманах История и математика. Отв. ред. Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Волгоград: Учитель, https://www.socionauki.ru/upload/socionauki.ru/book/files/iim_12/011-053.pdf;
6. Фомин А. А. 2022. Ранговое распределение палеонтологических морских родов и

Сокращающиеся циклы в сложности от биотической эволюции до социально-экономической

протодемографические циклы. Альманах «Эволюция». Отв. ред. Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Волгоград: Учитель;

7. Фомин А. А. Закон глобального, эволюционного ускорения. Всеобъемлющая гиперболическая эволюция с циклами, сокращающимися по времени от возникновения жизни до современности (от биологии до экономики/от биосферы до техносферы): прошлое, настоящее и будущее. Книга ещё не опубликована.

8. Turchin P. et al. 2018. Quantitative historical analysis uncovers a single dimension of complexity that structures global variation in human social organization, PNAS January 9, 2018. 115 (2) E144-E151; published ahead of print December 21, 2017, <http://www.pnas.org/content/115/2/E144.short> , <https://doi.org/10.1073/pnas.1708800115>.

REDUCING CYCLES IN COMPLEXITY FROM BIOTIC TO SOCIO-ECONOMIC EVOLUTION

Fomin, A. A., Fundamental research program of the Economics and Sociology of Science and Education, Russian Academy of Sciences; lesha74@rambler.ru

Annotation. It is shown that among the types of cells that certain biological taxa possesses, if we consider it as a function of the time of their appearance, there are cycles reduced in time (from the cycle to the cycle, approximately the same number of times). Moreover, if they are extrapolate in historical times, then they can coincide with some other (historical) indicator of a kind of complexity - with the index of specialized state administration.

Keywords: reducing cycles, the number of cells types, biotic cycles, socio-economic cycles, specialized management index.

REFERENCES

1. Ivanov O. P. 2002. Global ecological problems and evolution. Collection: Globalization: a synergetic approach. pp. 153-156, Place of publication: RAGS Moscow, <https://spkurdyumov.ru/globalization/globalnye-ekologicheskie-problemy-i-evolyuciya/>;
2. Reff R. A., Kauffman T. K. 1986. Embryos, Genes, and Evolution. Translated from English - Moscow: Mir, 404 p., https://royallib.com/book/reff_rudolf/embrioni_geni_i_evolyutsiya.html;
3. Fomin A. A. 2015. Cycles in the inequality of brain volume in hominids: (?) a direct evolutionary link with contemporary cycles of wealth inequality. Abstracts of the VII Russian Philosophical Congress;

4. Fomin A. A. 2018. On the synthesis of two mathematical methods for describing socio-economic evolution. Almanac History and Mathematics. Mega-historical aspects. Eds. Grinin L. E., Korotayev A. V., Volgograd: Uchitel, https://www.socionauki.ru/upload/socionauki.ru/book/files/iim_11_/205-244.pdf, http://www.unn.ru/books/met_files/Mironos.pdf;
5. Fomin A. A. 2018. The cycles of unevenness in global socio-economic development may be no younger than humanity. Direct evolutionary continuity with modernity // Almanac History and Mathematics. Eds. Grinin L. E., Korotayev A. V., Volgograd: Uchitel, https://www.socionauki.ru/upload/socionauki.ru/book/files/iim_12/011-053.pdf;
6. Fomin A. A. 2022. Rank distribution of paleontological marine genera and proto-demographic cycles. Almanac "Evolution." Eds. Grinin L. E., Korotayev A. V., Volgograd: Uchitel;
7. Fomin A. A. The Law of Global, Evolutionary Acceleration. A comprehensive hyperbolic evolution with cycles decreasing in time from the emergence of life to modernity (from biology to economics/from biosphere to technosphere): past, present, and future. The book has not yet been published.
8. Turchin P. et al. 2018. Quantitative historical analysis uncovers a single dimension of complexity that structures global variation in human social organization, PNAS January 9, 2018. 115 (2) E144-E151; published ahead of print December 21, 2017, <http://www.pnas.org/content/115/2/E144.short> , <https://doi.org/10.1073/pnas.1708800115>.