**Самоорганизация сложных систем. Эволюционные аспекты информационного взаимодействия системы со средой**

Аруцев Александр Артемьевич, Ермолаев Борис Валерьевич, Кутателадзе Ираклий Отарович, Слуцкий Михаил Семенович

Характерной особенностью развивающихся систем является их способность к самоорганизации, которая проявляется в самосогласованном функционировании системы за счет внутренних связей с внешней средой. Рассматривая развитие как процесс самоорганизации системы, выделим в нем две основные фазы: адаптацию, или эволюционное развитие и отбор. Самоорганизующиеся системы обладают механизмом непрерывной приспособляемости (адаптации) к меняющимся внутренним и внешним условиям, непрерывного совершенствования поведения с учетом прошлого опыта. При исследовании процессов самоорганизации будем исходить из предположения, что в развивающихся системах структура и функция тесно взаимосвязаны. Система преобразует свою структуру для того, чтобы выполнить заданные функции в условиях меняющейся внешней среды.

Адаптация системы к меняющимся условиям происходит благодаря появлению элементов, обладающих необходимыми для функционирования системы свойствами, причем благодаря не просто появлению таких элементов (имеется в виду не только появление новых элементов, но и возникновение у "старых" элементов новых признаков), а избыточности таких элементов-признаков. Увеличение числа сходных элементов лежит в основе прогрессивного развития систем, так как является предпосылкой для дальнейшего отбора элементов, дифференциации и интеграции структур. Вместе с тем увеличение числа сходных элементов - простейшее средство для увеличения надежности воспроизведения, для интенсификации функций и расширения связей с внешней средой. Периоду адаптации (устойчивости системы) соответствует постоянное накопление приспособительных признаков широкого значения, нарастание универсализма системы. В результате флуктуаций в системе возникают регулирующие сигналы, которые изменяют, приспосабливают структуру системы так, чтобы система продолжала функционировать необходимым образом.

Период адаптации - это период эволюционных преобразований, которые связаны лишь с количественными изменениями в системе. Структурная устойчивость при этом не нарушается. Понятие структурной устойчивости играет важную роль в теории самоорганизации.

Концепция структурной устойчивости выражает в наиболее сжатом виде идею нововведений - появление нового механизма и новых элементов. Проблема структурной устойчивости сводится к следующему. Под воздействием флуктуаций (как внутренних, так и внешних) в самоорганизующейся системе появляются приспособительные признаки (это может выражаться в появлении новых признаков у существующих элементов, либо новых элементов, новых взаимосвязей между элементами).

Новая сеть элементов-признаков обеспечивает адаптацию системы к флуктуациям. Если при этом не меняется способ функционирования системы, то такую систему называют структурно устойчивой.

Рене Том обратил внимание на общий характер и важность понятия "структурная устойчивость". Какие же факторы определяют развитие систем, и в частности эволюции? Этот вопрос наиболее полно разрабатывается в рамках биологии. Не ссылаясь на основоположников эволюционной теории, перейдем к анализу результатов исследований в этой области Шмальгаузена, которому удалось связать воедино концепции Кювье, Дарвина, Вернадского. Шмальгаузен берет в качестве главных факторов эволюции изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. Шмальгаузен понимает, что в чистом виде эти факторы не проявляются в природе, что представление о них - это результат научной абстракции, итог определенной мыслительной работы. Вот почему для более полного объяснения действий ведущих факторов эволюции необходимо выявление и других, среди которых - различные виды изоляции, скрещивание, корреляции, индивидуальная адаптация. Особое место при этом он отводит стабилизирующему отбору (А.К.Айламазян).

Для Шмальгаузена в отличие от некоторых других эволюционистов-теоретиков ясно, что абсолютизация какого-то одного из отмеченных факторов неминуемо ведет к неверным и ограниченным теоретическим выводам, гипертрофированному преувеличению значения того или иного момента эволюции. Более того, он специально подчеркивает, что даже на разных этапах эволюции ее факторы проявляются по-разному и соответственно имеют неодинаковое значение.

Другим вопросом, не теряющим своей актуальности, является вопрос о формах эволюции. Шмальгаузен рассматривает его в ходе анализа процесса видообразования и расхождения признаков. При этом он подробно освещает проблему адаптации, наглядно показывая место этого феномена в эволюционном процессе, прослеживая связь адаптации и организации, которая в итоге приводит к их неразрывному единству.

Заслуга Шмальгаузена в том, что он рассматривал эволюцию как единый, целостный процесс развития системы. При этом показал, что реальным объектом эволюции является именно система (например, конкретная популяция или вид в целом). Каждая особь - реальная единица жизни - является элементом эволюционирующей системы.

Развитие присуще только системе, а не элементу. Развитие - это единый целостный направленный процесс и рассматривается только по отношению к системе. Исследуя систему, мы всегда можем выделить мысленно отдельные ее подсистемы и рассматривать другие ее подсистемы в качестве внешней среды. Если мы хотим исследовать процесс развития отдельного элемента, то этот элемент мы должны представить в виде системы, чтобы определить, что является ее элементами, а что - внешней средой.

Процесс эволюции - это результат взаимодействия системы с внешней средой, поэтому при исследовании этого процесса необходимо рассматривать процесс система-внешняя среда.

Значение внешних и внутренних факторов в органической эволюции Шмальгаузен выявляет, объясняя эволюционный процесс как процесс направленный: "Биогеоценоз выступает по отношению ко всем составляющим его популяциям видов как управляющее устройство. Контроль и регуляция взаимозависимостей популяций разных видов друг с другом и с неживыми компонентами биогеоценоза совершаются через отбор или дифференциальное участие особей в воспроизведении следующего поколения. Гибель, полное или частичное устранение от размножения всех, кто не может выполнять биогеохимическую функцию, поддерживает устойчивость процессов циркуляции вещества и энергии в биогеоценозе и вместе с тем обеспечивает эволюцию отдельных видов. Эволюция является побочным, но неизбежным результатом поддержания устойчивости системы высшего по отношению к организму ранга. Отбор, осуществляя контроль и регуляцию, т.е. поддерживая стационарное состояние биогеоценоза, тем самым становится движущим фактором эволюции вида и обеспечивает не просто изменение вида как системы, которое могло бы привести ее к разрушению, а переход системы из одного гармонического (устойчивого по принципу регулирования) состояния в другое гармоническое состояние".

Множественное регулирование по принципу обратной связи, или самонастройка развивающего организма, лежит в основе поддержания устойчивого состояния, обеспечивает сохранение устойчивости процесса развития при нерегулярно меняющихся внешних условиях, обеспечивает надежность достижения результата развития в регулярно меняющихся условиях среды. Самонастройка составляет основу приспособленности организма к среде и взаимного приспособления органов друг к другу. Но она же составляет и основу приспособляемости, правда, на другом - надорганизменном уровне организации жизни.

Шмальгаузен вскрыл, каким образом отбор, способствуя образованию регуляторных механизмов индивидуального развития, меняет характер развития и создает устойчивые формы, остающиеся неизменными при неизменных условиях среды и способные меняться, как только условия среды изменились. Целостность организма, согласно этой концепции, является одновременно условием сохранения устойчивости и предпосылкой преобразования. Само преобразование, т.е. создание "новой наследственной программы", осуществляется с помощью сил, оперирующих уже на уровне множества особей - в биогеоценозе и на больших отрезках времени, выходящих за рамки жизни особи в процессе смены поколений.

Вернадский сумел раскрыть на уровне биосферы в целом взаимодействие концепции эволюционного процесса и идеи устойчивости живой природы. Однако в рамках самой биологии эти определяющие концепции - константности и историзма - были разобщены вплоть до работ Шмальгаузена.

Шмальгаузен показал, что само преобразование органических форм закономерно осуществляется в рамках относительно стабильного механизма, лежащего на биогеоценотическом уровне организации жизни и действующего по статистическому принципу. Это и есть высший синтез идеи эволюции органических форм с идеей устойчивости вида и идеей постоянства геохимической функции жизни в биосфере.

Механизм эволюции Шмальгаузен рассматривал с точки зрения кибернетики, процесс взаимодействия системы и внешней среды представлял как последовательность информационных процессов: накопления, отбора, преобразования, передачи информации о свойствах (признаках) отдельных элементов и системы в целом.

Действие регуляторного механизма развития системы проявляется на различных уровнях ее организации и зависит от реакции на изменение внешних факторов, от форм взаимодействия системы с факторами внешней среды. В зависимости от уровня структуризации системы взаимозависимость с внешними факторами проявляется в различных формах, так как относится к разным уровням организации системы и различным процессам. В роли регулятора выступает внешняя среда, включающая рассматриваемую систему. Внешняя среда должна быть связана с развивающейся системой двумя линиями связи - прямой линией передачи управляющих сигналов от внешней среды к системе и линией обратной связи, передающей во внешнюю среду информацию о действительном состоянии системы. В процессе своего функционировании система передает во внешнюю среду информацию о количественном составе соответствующих элементов-признаков, об их распределении. Во внешней среде происходит преобразование этой информации (контроль и отбор наиболее ценной информации). Отобранная информация накапливается во внешней среде и передается в систему путем появления соответствующих свойств (признаков) у элементов системы.

В биологических системах в роли регулятора выступает биогеоценоз. Популяция, входящая в состав данного биогеоценоза, связана с ним двумя каналами. Первый канал связи лежит на молекулярном уровне организации и служит для передачи наследственной информации от зиготы до первичных половых клеток зрелой особи. Второй канал связи лежит на уровне организации особи и служит для передачи обратной информации от фенотипов к биогеоценозу. Между этими двумя каналами "вставлены" механизмы преобразования, обеспечивающие связь между ними и замыкающие таким образом элементарный цикл эволюционных изменений.

Таким образом, осуществляется двусторонняя связь между внешней средой и включенной в ее состав системой. Однако между обеими линиями передачи нет непосредственной связи, так как они находятся на разных уровнях. Накопленная информация передается по прямому каналу на уровне признаков отдельных элементов, а обратная информация - только на уровне элементов и компонентов системы. Так как регулирующие механизмы развития системы связаны с внешней средой, то следует считаться с возможностью различных случайных внешних влияний, которые искажают передачу информации и нарушают нормальное течение преобразований.

Если биогеоценоз в целом играет роль регулятора эволюционного процесса, то он обязательно должен быть обеспечен "информацией" о состоянии популяции (по линии "обратной" связи), должен включать в себя специфический механизм преобразования этой информации в управляющие сигналы и средства передачи последних на популяцию. Таким образом, кроме механизма преобразования, необходимы каналы связи для передачи информации в двух направлениях - от популяции к биогеоценозу и от биогеоценоза к популяции. Так как изменение популяции, будучи элементарным эволюционным процессом, всегда сопровождается наследственным изменением ее особей, то управляющие сигналы от биогеоценоза к популяции должны каким-то образом включить возможность изменения ее наследственной структуры. Последнее может произойти только в процессе преобразования информации в самом биогеоценозе (т.е. в "регуляторе"). Так как первичные эволюционные изменения возможны только в популяции (или в поколениях особей, но не в отдельных особях), то наиболее простым изменением является хотя бы небольшое изменение в генетическом составе популяции, т.е. в соотношении числа особей с разной наследственной характеристикой (генотипов). Информация о таких изменениях популяции может быть сообщена через наследственный аппарат ее особей и передана особям следующего поколения при посредстве, например, половых клеток. Такой аппарат действительно имеется, и, несомненно, он полностью обеспечивает надежную связь популяции с регулирующим механизмом биогеоценоза и дальнейшую передачу информации от одного поколения особей к следующему. Имеются и средства передачи обратной информации от популяции к биогеоценозу. Популяция, несомненно, активно воздействует на биогеоценоз, хотя бы через потребление пищевых материалов и накопление продуктов своей жизнедеятельности. В известных условиях популяция может внести значительные изменения в строении биогеоценоза. Таким образом, имеются и каналы обратной связи.

Однако нет прямой связи между наследственной информацией по первому каналу (от биогеоценоза) и обратной информацией по второму каналу (от популяции к биогеоценозу). Здесь непосредственная связь как будто прерывается, так как обе линии связи находятся на разных уровнях. Наследственная информация передается на внутриклеточном (молекулярном) уровне организации, а обратная информация - только на уровне организации целой особи.

Переход от одной линии связи к другой совершается посредством довольно сложного механизма преобразования. Наследственная информация преобразуется в процессах индивидуального развития в средства передачи обратной информации, именно в фенотип особи, являющейся реальным носителем жизни и активным участником наступления на жизненные ресурсы биогеоценоза ("борьбы за существование"). В биогеоценозе через естественный отбор и процессы размножения происходит новое преобразование этой информации в наследственную с переходом от уровня организации особи (в фенотипах) на уровень организации клетки (половые клетки, зиготы). Так замыкается полный круг преобразований в элементарном цикле эволюционного процесса.

Таким образом, можно еще раз сказать, что адаптация системы происходит за счет избыточности элементов-признаков, за счет накопления информации в системе о состоянии окружения. Избыточность обеспечивает селекцию, отбор наиболее оптимальных вариантов.

Накопленная во внешней среде информация отражает влияние внешней среды и реализуется (передается в систему) путем появления соответствующих свойств (признаков) у элементов системы (передается на уровне элементов). Отбор происходит в результате взаимодействия системы со средой, накопление информации идет во внешней среде (накапливается отобранная информация).

Обратная информация передается от системы во внешнюю среду в процессе ее функционирования (на уровне подсистем). Эта информация преобразуется во внешней среде (идет отбор). Каждый элемент системы развивается по той же схеме, т.е. может либо погибнуть, либо изменить свои количественные иди качественные характеристики.

Несколько слов о понятии "отбор". Шмальгаузен выделяет две стадии отбора: стабилизирующий и преобразующий. Рассматривая процесс развития, представим его как два взаимосвязанных периода: период эволюционного развития (адаптации) и период революционных качественных изменений (отбор). При этом отбор понимаем как преобразующий. Стабилизирующий отбор в нашей схеме происходит на этапе адаптации.

Стабилизирующий отбор закрепляет достигнутые свойства системы, связывает их в целостную систему и обеспечивает максимальную надежность их воспроизведения. Целостность проявляется в адаптации элемента к условиям внешней среды, в формообразующей роли в ходе установления основ определенной организации в процессах дифференциации и интеграции.

В процессе эволюции происходит отбор организмов наиболее способных извлекать информацию из внешней среды и накапливать ее в системе. Прогрессивная эволюция связана с ростом способности к извлечению информации и увеличением способности к ее сохранению.

Накопление информации в организмах означает накопление негэнтропии. Выдача обратной информации сопровождается и утерей негэнтропии, и ее передачей во внешнюю среду. Организмы не только повышают уровень своей негэнтропии (организации), но и способствуют накоплению негэнтропии во внешней среде - они оказывают на эту среду организующее влияние. Это, однако, не означает, что организмы только организуют внешнюю среду. Одновременно они ее и разрушают, и это накопление энтропии неизменно превышает обратный процесс организации.

Отбор - это средство осуществления обратной связи от внешней среды к системе, т.е. отбор информирует систему о ее положении во внешней среде. Отбор выступает как механизм, ответственный, в конечном счете, за усложнение и усовершенствование самого хранилища накопленной информации и за согласование его работы со сложными изменчивыми условиями окружения. Таким образом, процесс преобразования внешнего во внутреннее осуществляется в ходе стабилизирующего отбора, т.е. зависимое от внешних факторов развитие становится автономным.

Шмальгаузен отмечал, что стабилизирующая форма естественного отбора ведет к упорядоченности в строении наследственного кода и к упорядоченности в строении всего организма в целом. С другой стороны, тот же стабилизирующий отбор поддерживает высокий уровень многообразия в структуре всей популяции.

Причиной многообразия форм в популяции является, конечно, процесс мутирования. Стабилизирующая форма естественного отбора препятствует накоплению одинаковых мутаций, переводит наследственное многообразие особей в скрытое состояние и всегда поддерживает количество наследственной информации в популяции на довольно высоком уровне. На еще более высоком уровне поддерживается и количество обратной информации в фенотипах популяции. Следовательно, энтропия популяции остается высокой. Популяция - мало организованная биологическая система, и этот низкий уровень организации, т.е. некоторый беспорядок и неопределенность, поддерживается действием стабилизирующего отбора. Этим самым поддерживается высокая эволюционная пластичность популяции и вида в целом. В случае изменения соотношений между популяцией (видом) и внешней средой (биогеоценозом) нормальные особи теряют свою приспособленность. Стабилизирующий отбор в известных отношениях (по признакам, утратившим свое значение) прекращается, и это ведет к увеличению числа разнообразных мутаций. Резко увеличивается количество информации в отдельных особях, организация расшатывается. Однако некоторые мутации и их комбинации могут получить в новых условиях среды положительную оценку. Это ведет к свободному их накоплению под руководящим влиянием движущей формы естественного отбора.

Стабилизирующая форма отбора ведет, собственно, к двум разным, но одинаково важным результатам: к максимальной устойчивости особи и возможной мобильности, т.е. эволюционной пластичности популяции.

Стабилизирующая форма естественного отбора выступает в роли фактора, формирующего и поддерживающего надежное функционирование первого канала связи от зиготы к первичной половой клетке (путем клеточных делений) и безошибочное преобразование полученной таким образом информации в процессах индивидуального развития. Она ведет к созданию и максимальной стабилизации аппарата индивидуального развития и к нормализации популяции, ее особей и признаков.

Движущая (преобразующая) форма отбора выступает в роли фактора, формирующего и поддерживающего функцию второго канала связи от популяции к биогеоценозу. Она ведет к тем перестройкам в организации наследственного аппарата (в первом канале связи) и механизма индивидуального развития (в формах преобразования информации), которые способствуют возникновению новых адаптаций; к специализации, общему усложнению организации и увеличению активности отдельных особей, т.е. к изменению форм жизнедеятельности как средств связи по второму каналу. Преобразующий отбор использует в своей деятельности то, что достигнуто стабилизирующим отбором, - высокую наследственность тех уклонений от нормы, которые вызваны изменением генотипа.

Эмбриологические работы Шмальгаузена показали, что наиболее быстро эволюционируют те структуры, которые в процессе развития зародыша наиболее независимы от остальных частей организма.

Идея ускорения эволюции наиболее стабильных структур явилась высшей точкой синтеза идеи устойчивости и идеи эволюции.

Исследования Шмальгаузена показывают, что для развития системы нужны закрепленные признаки, появившиеся в результате адаптации к внешней среде, т.е. необходимо наличие в системе определенной формы памяти. Но одной наследственности для развития мало, нужен активный обмен с внешней средой, система должна быть открытой. Организационные формы не могут возникнуть без специально организованной памяти. Но наряду с "накопленным опытом" система должна обладать способностью к обучению.

Таким образом, Шмальгаузен связал один из факторов эволюции - изменчивость с процессами передачи, преобразования, накопления информации. При этом понятие "информация" связывается с числом элементов-признаков. На этапе адаптации важную роль играет избыточность информации.

**1. Диссипативные структуры и явления самоорганизации**

Единый процесс развития охватывает явления живой и неживой природы и общества, поэтому естественно описать весь процесс развития на одном языке, в рамках единой схемы, с использованием общей терминологии. В эволюционной теории для описания процессов развития используют триаду: изменчивость, наследственность, отбор. Эти же факторы рассматривает Н.Н.Моисеев в своей монографии "Алгоритмы развития". Изменчивостью он называет любые проявления стохастичности и неопределенности. Наследственностью - способность материи сохранять свои особенности, способность изменяться от прошлого к будущему, способность будущего зависеть от прошлого.

Принципами отбора он называет те принципы, которые вызывают к существованию более или менее устойчивые образования, ими являются законы сохранения, законы физики и химии в частности, второй закон термодинамики, вариационные принципы и т.д..

Задача состоит в том, чтобы выявить то общее содержание, которое присуще любым процессам развития. Моисеев строит классификацию принципов отбора и рассматривает с единой точки зрения его механизмы.

Он выделяет два разных класса отбора. Это адаптационные механизмы (определение множества состояний системы, которые будут обеспечивать ее устойчивость при данных условиях внешней среды) и бифуркационные механизмы (качественный скачок, изменение организации системы).

Определяющую роль эволюционного периода развития систем играют такие понятия, как адаптация, устойчивость, стабилизирующий отбор.

Необходимым условием существования живых организмов является постоянство внутренней среды. Гомеостазис (от греческого "гомео" - тот же, "стазис" - состояние) рассматривается биологами как способность биологических систем противостоять изменениям внешней среды и сохранять состояние равновесия. Например, только благодаря механизмам поддержания гомеостазиса некоторые растения могут жить на ядовитых отвалах рудников. Есть растения - концентраторы металлов - алюминия, молибдена, никеля, свинца, стронция. При этом для предотвращения отравления тканей в растениях синтезируются специфические белки (определяющие устойчивость к высоким концентрациям металлов), изменяются количество и качество корневых выделений, тяжелые металлы связываются в клетках дубильными веществами и органическими кислотами. Механизмы поддержания гомеостазиса исторически закреплены и направлены на повышение устойчивости организма в онтогенезе, что обеспечивает успех в воспроизведении потомства.

Развитие - это борьба двух противоположных тенденций - сохранение гомеостазиса и поиск новых организационных форм, уменьшающих локальную энтропию.

Этапность развития органического мира, на которой в значительной мере базируется периодизация геологической истории, - твердо установленный факт. Однако общая теория этапности разработана еще очень слабо, особенно это касается наиболее принципиального ее раздела "О закономерностях перехода от одного этапа к другому". До сих пор обычно недооцениваются изменения биоценотических связей в экосистемах прошлого, вызывавшиеся появлением новых групп организмов. Вместе с тем чрезвычайно большое внимание уделяется возможной роли глобальных катастроф.

Согласно концепции прерывистого равновесия, разработанной американскими исследователями С.Гоулдом, Н.Элдриджем и С.Стэнли, эволюция, во всяком случае на видовом уровне, по крайней мере в 95% случаев идет не непрерывно, а своего рода скачками. Предполагается, что виды остаются практически неизменными на протяжении буквально миллионов лет, а затем за несколько десятков или сотен лет происходит формирование новых видов. Переход от вида к виду совершается в ее свете не посредством скачка в одном поколении, а путем накопления мутации и отбора. Всякое значительное изменение экологических условий влечет за собой перестройку всей организации сообщества животных.

Например, у животных, ведущих одинокий образ жизни, в случае необходимости возникает строгая иерархическая структура. В период нехватки корма такая организация сообщества определяет очередность доступа к пище. Доминирование может не только разделять, но и объединять животных, оно способствует процессу локализации, образованию структуры в сообществе взамен агрессивных взаимодействий особей.

Биологические системы обладают способностью сохранять и передавать информацию в виде структур и функций, возникших в прошлом в результате длительной эволюции.

Открыты подвижные генетические элементы, которые оказались замешаны в таких общебиологических явлениях, как азотфиксация, злокачественный рост клеток, работа иммунной системы и приспособление бактерий к антибиотикам, нестабильные мутации, материнская наследственность.

Нестойкое, нестабильное состояние гена, когда он начинает мутировать в десятки, сотни раз чаще обычного, связано не с изменениями внутри самого гена, а с введением в район его расположения определенного "контролирующего" элемента, способного блуждать по хромосомам. Эти элементы влияют на "включение" и "выключение" генов, т.е. на темп наследственной изменчивости. Одно из самых удивительных открытий для генетиков в последние 15-20 лет состояло в осознании повсеместности подвижных элементов, общности их строения и причастности к самым разным генетическим явлениям. Подвижные гены имеют на одном и другом конце повторы. Такие генетические тексты, обрамленные повторами, начинают вести свою отдельную от общей наследственной системы жизнь. Именно такого рода структуры получают возможность увеличивать число своих копий в хромосомах. Они подчиняют своему звучанию близлежащие гены, которые либо замолкают, либо усиливают активность, либо начинают работать в другом режиме. Включив в свой состав участок ДНК, отвечающий за самоудвоение, подвижный элемент превращается в плазмиду, которая самостоятельно размножается вне дочерней хромосомы у бактерий и вне ядра в клетках высших организмов.

В классической генетике: мутация возникает случайно; им подвержены единичные особи; их частота очень мала. В "подвижной генетике" изменения не случайны, зависят от типа подвижного элемента; им подвержены много особей; их частота велика, может достигать десятка процентов.

Именно с мобильностью активных элементов связывают обнаруженные в природных популяциях дрозофил регулярные вспышки мутации определенных генов. Темп мутационного процесса непостоянный, так, время от времени популяции или виды вступают в "мутационный" период. Самое поразительное открытие в генетике за последнее время - это возможность с помощью мобильных элементов переносить гены или группы генов от одних видов к другим (иногда к самым далеким), т.е. благодаря перемещающимся элементам генофонды всех организмов объединены в общий генофонд всего живого мира. Это особенно ярко продемонстрировали плазмиды с детерминантами устойчивости к антибиотикам в колоссальном эксперименте, невольно поставленном человеком на бактериях. С помощью генсектицидов человек расширяет эксперимент на насекомых, и в ответ их популяции, вероятно, охватываются определенными, быстро распространяющимися генетическими элементами, повышающими устойчивость организма ("генетическая экспансия"). Предполагается, что когда-то в клетках насекомых поселились бактерии - симбионты, которые постепенно передали большинство своих генов в ядро и превратились в митохондрии и пластиды. Это замечательный пример переноса генов от про- к эукариотам. Способность клеток одного вида воспринимать ДНК от других, иногда эволюционно далеких видов, возможность горизонтального переноса генов считается "одним из главных чудес XX века". Классическая генетика гласит: каждый ген располагается на своей хромосоме и занимает на ней строго фиксированное положение. Сейчас известно много вариантов перемещающихся элементов, которые могут менять свое место на хромосоме и даже перемещаться с хромосомы на хромосому. Таким образом могут рождаться новые признаки организма.

Однако способность системы обмениваться информацией с внешней средой, увеличивать или уменьшать число элементов-признаков, сохранять устойчивость еще не делает эту систему развивающейся.

Порождаемая неравновесными внешними условиями неустойчивость приводит к увеличению интенсивности диссипации, вследствие чего создаются условия возникновения новой неустойчивости. Иными словами, в системе увеличивается интенсивность протекания некоторых необратимых процессов, благодаря чему и отклонение системы от равновесия становится еще большим. Это означает, что вероятность существования такого класса флуктуаций, по отношению к которым новые процессы становятся неустойчивыми, возрастает.

С другой стороны, если бы в результате возникновения неустойчивости интенсивность диссипации снижалась, то система по своим свойствам приблизилась бы к некоторой равновесной замкнутой системе, т.е. к состоянию, в котором затухают любые флуктуации. Такой механизм можно изобразить следующим образом (И.Р.Пригожин, И.Стенгерс):

Интенсивность диссипации, т.е. увеличение энтропии, можно связать с интенсивностью роста числа новых элементов-признаков в системе. Если флуктуации вызывают интенсивный рост новых элементов и между ними не успевают образовываться связи, организация системы нарушается, энтропия возрастает, система становится структурно неустойчивой.

Существование неустойчивости можно рассматривать как результат флуктуации, которая сначала была локализована в малой части системы, а затем распространилась и привела к новому макроскопическому состоянию.

Исследования школы Пригожина показали, что понятия структурной устойчивости и порядка через флуктуации применимы к системам различной природы, в том числе экономическим, социальным: "Пределов для структурной устойчивости не существует. Неустойчивости могут возникать в любой системе, стоит лишь ввести подходящие возмущения. Мутации и "новорожденные" элементы возникают стохастически и собираются в единую систему господствующими в данный момент детерминистическими принципами. Это позволяет нам надеяться на непрестанную генерацию "новых типов" и "новых идей", которые могут быть включены в структуру системы, обеспечивая тем самым ее непрерывное развитие".

Удаленность от равновесия, нелинейность может служить причиной возникновение упорядоченности в системе.

Биологическая упорядоченность, генерация когерентного света лазером, возникновения пространственной и временной упорядоченности в химических реакциях и гидродинамике, автоволны в различных средах, наконец, функционирование экосистем в животном мире или жизнь человеческого общества - все эти примеры являются поразительной иллюстрацией явлений самоорганизации, образования диссипативных структур. Эти структуры наряду с замечательными регуляторными свойствами проявляют необычайную гибкость и разнообразие.

Как показали работы школы Пригожина, важнейшей общей чертой широкого класса процессов самоорганизации является потеря устойчивости и последующий переход к устойчивым диссипативным структурам. В точке изменения устойчивости в результате ветвления должны возникнуть по меньшей мере два решения, соответствующие устойчивому, близкому к равновесному состоянию и диссипативной структуре.

Для диссипативных структур характерна устойчивость, которая одновременно является структурной и функциональной.

Эволюцию можно рассматривать как проблему структурной устойчивости. Система не всегда является структурно устойчивой, причем эволюция диссипативной структуры определяется последовательностью событий в соответствии со схемой (Г.Николис, И.Р.Пригожин).

Шмальгаузен в качестве одного из факторов эволюции выделял борьбу за существование. Согласно теории конкуренции, близкие виды могут населять район лишь в том случае, если они эффективно делят между собой необходимые ресурсы.

Хатгинсон провозгласил принципиально новую программу изучения неравновесных сообществ, чьи принципы организации коренным образом отличаются от тех, к которым привыкли экологи, рассматривающие сообщество как жестко организованную совокупность видов.

В альтернативном подходе прямая конкуренция за пищу подменяется сложными и динамичными информационными связями. В зависимости от условий метаболиты (продукты жизнедеятельности) данного вида либо угнетают, либо, наоборот, стимулируют размножение других видов. При этом возможны как негативные, так и позитивные межвидовые отношения. Разные виды не только не стремятся окончательно вытеснить друг друга, но как бы "удерживают" в сообществе те виды, численность которых падает ниже определенного уровня.

В теории конкуренции выражена концепция детерминизма; конкуренция определяет численность, облик и эволюцию существующих видов, потребляющих одну и ту же пищу. Другая парадигма: близкие виды, расположенные в экосистеме на одном трофическом уровне, всегда живут среди избытка пищи, поскольку их численность эффективно ограничивается сложным комплексом причин, в том числе и конкуренцией.

Согласно этой парадигме биологическое сообщество можно рассматривать как диссипативную структуру, которая, находясь в неравновесном состоянии, постоянно ведет обмен с внешней средой.

В исходной неупорядоченной системе за счет последовательно реализующихся неравновесных неустойчивостей, за счет когерентного поведения элементов может возникнуть функциональная организованность.

Приведем пример из нового быстро развивающегося научного направления - адаптологии. Клод Бернар назвал приспособление адаптационно-итоговой проблемой всей физиологии. Адаптация человека и животных представляет собой процесс, в течение которого организм приобретает отсутствовавшую ранее устойчивость к определенным факторам среды и в результате решает задачи, ранее несовместимые с жизнью.

При всем разнообразии приспособительных процессов в них есть сходство. На первом этапе адаптации к любому новому фактору организм подходит к максимуму своих возможностей, к критической (бифуркационной) точке. Если человек или животное не погибает, а фактор по-прежнему действует, то возможности живой системы возрастают, и на смену аварийной стадии в большинстве случаев приходит стадия эффективной и устойчивой привычки (возникает диссипативная структура).

Согласно учению Ухтомского, формирование систем, обеспечивающих адаптацию, происходит следующим образом. Под влиянием внешних раздражителей в организме формируются, сменяя друг друга, созвездия возбужденных нервных центров - доминанты. Именно доминанты обеспечивают приспособление организма к среде, его выживание, а если надо - и преобразующее влияние на среду. В доминирующей системе образуется структура, которая увеличивает мощность системы и становится материальной основой долговременной адаптации (например, после перенесенных заболеваний сердца - рост сердца в целом, соотношение структур в клетках сердца меняется так, что орган в целом становится более мощным и эффективным). Стресс - реакция (флуктуация) нужна для того, чтобы возникла доминирующая в адаптации система и образовался структурный след (новая структура, обеспечивающая новый способ функционирования).

Доминирующая система работает под нагрузкой, в ее клетках возрастает производство нуклеиновых кислот и белков, строятся новые структуры. Смотря по тому, к какому фактору приспосабливается организм, доминирующая система и ее след выглядят по-разному. Но этот след всегда увеличивает мощность системы, материально обеспечивает переход к долговременной адаптации.

Как и любая другая архитектура, архитектура системного структурного следа есть отражение задачи, которую среда выдвигает перед организмом.

Перед современным человеком чаще возникают задачи, требующие не физической, а умственной адаптации. При обучении - формировании условных рефлексов, навыков, идей возбуждение нейронов в высших отделах мозга активизирует в них производство нуклеиновых кислот и белков. Белки из тела нейронов поступают в отростки, которыми нервные клетки контактируют между собой. Так, перестраиваются межнейронные связи, возникают новые нейронные сети.

Сегодня модели нейронных и иммунных сетей строятся в рамках представлений о диссипативных структурах.

Переход системы после критической точки из неустойчивого состояния к устойчивому (к диссипативной структуре) можно рассматривать как качественный скачок в развитии системы, в результате которого возросла организованность, упорядоченность системы,

Место нервной клетки в структуре мозга определяется очень рано - у млекопитающих и человека в основном до рождения, и это место далеко не случайно. Это не значит, что структура мозга генетически полностью предопределена. Связи формируются преимущественно после рождения, а следовательно, в различной мере зависимы от внешней среды. Некоторые связи будут обязательно, другие могут быть, а могут и не быть, третьи могут оказаться патологическими. Поэтому нормальное развитие мозга зависит от гармонии усложнения внутренней и внешней среды организма. При этом для человека наиболее существенным фактором внешней среды, гармонизирующим внутреннюю структуру мозга, являются другие люди.

Работы нейрофизиологов в области исследования пространственной организации как отдельных образований, так и целых систем мозга показали, что структурно-функциональной единицей мозга служит не отдельный нейрон, а популяция нейронов, пространственно организованная в виде вертикальной колонки, расположенная в одном или нескольких слоях коры. Эволюционные преобразования мозга в определяющей мере зависят от изменений взаиморасположения элементов, т.е. от изменений конструкций, как отдельных структур мозга, так и мозга в целом. И в меньшей степени - от изменений самих элементов.

Выявлена зависимость между увеличением вертикальной упорядоченности и усложнением функций мозга. Максимальная величина упорядоченности соответствовала наиболее новым и сложноорганизованным формациям коры мозга человека, имеющим отношение к восприятию речи, ее воспроизводству.

До сих пор ведущим фактором эволюции мозга считается амаболия, т.е. количественное накопление или надбавка элементов. В подтверждение этого приводятся данные о том, что эволюционно новейшие образования - новая кора и ассоциативные области новой коры - максимально представлены в мозге человека. Но дело в том, что по мере относительного увеличения новейших формаций в мозге млекопитающих происходило столь же значительное относительное уменьшение эволюционно более старых образований, и они минимально представлены именно в мозге человека. Этот факт показывает, что значение того или иного образования определяется не его массой, а мерой взаимодействия с другими образованиями (структурой). Несмотря на чрезвычайную сложность реконструкции эволюции мозга, можно предположить, что увеличение массы мозга и эволюционно новых образований сопровождалось не столько накоплением элементов, сколько увеличением вариантов взаиморасположения (степенью упорядоченности элементов). Именно одновременное относительное увеличение новых и уменьшение старых образований в конечном счете и решали одинаковую для всех видов задачу взаимодействия со средой.

**2. Условия возникновения самоорганизации**

Как отмечалось, развитие системы происходит за счет внутренних механизмов, в результате процессов самоорганизации и за счет внешних управляющих воздействий.

М.Эйгеном на основе неравновесной термодинамики и теории информации разработана концепция самоорганизации материи. Эйген ограничивается моделированием добиологической эволюции макромолекул, но развитые им идеи и методы имеют более общее принципиальное значение. Так же как и работы школы Пригожина, работы Эйгена вышли за рамки частных наук и имеют общенаучное методологическое значение.

Согласно теории Эйгена, самоорганизация не является очевидным свойством материи, которое обязательно проявляется при любых обстоятельствах. Должны быть выполнены определенные внутренние и внешние условия, прежде чем такой процесс станет неизбежным. Самоорганизация начинается с флуктуации. Для возникновения процесса самоорганизации необходимы инструктивные свойства системы на микроуровне.

Инструкция требует информации, которая кодирует определенные функции. Для самоорганизованных систем интерес представляет функция воспроизведения или сохранения ее собственного информационного содержания. Для возникновения эволюции существенно не количество информации, а инструктирующие свойства информации; важно не количество, а ценность информации, которая непосредственно связана с ее используемостью.

Достаточно сложно дать продуктивное универсальное определение ценности информации, так как оно дано для количества информации. Ценность информации различна для одной и той же системы при различных целях, различных условиях внешней среды. Ценность зависит от того запаса накопленной информации, которую имеет система. Ценность - это степень ее неизбыточности, незаменимости.

Информация, накопленная в процессе эволюции, - это "оцененная" информация, и число битов мало что говорит о ее функциональном значении. Накопление информации - это увеличение числа элементов, обладающих заданным признаком.

Ценность информации оказывается тем большей, чем меньше разнообразных способов выполнить заданную функцию. Если сравниваются системы, выполняющие различные функции, то ценностный критерий уже оказывается малопригодным, здесь по-прежнему можно использовать количественный информационный критерий. Количественный и прагматический информационные критерии необходимо применять не порознь, а совместно, только в этом случае можно достигнуть наиболее адекватного определения степени организации, как в функциональном, так и во многих других отношениях.

Для появления согласованных направленных процессов в системе необходимо использование информации в процессе функционирования системы. Если использования нет, то новые признаки у элементов появляются независимо от того, какие признаки есть у других элементов. Если нет использования информации, то нет ее накопления во внешней среде, а следовательно, нет передачи накопленной информации из внешней среды в систему. Организация в системе связана с локализацией элементов, обладающих определенными признаками, с концентрацией этих элементов, то есть образованием диссипативной структуры. Локализованные диссипативные структуры имеют способность накапливать информацию за счет своего рода "примитивной памяти". Такая локализация происходит благодаря самоинструктирующему процессу использования информации.

В процессе использования информации происходит отбор тех элементов-признаков, которые дают преимущества в ходе развития. Использование информации не является ее атрибутом, а лишь свойством, проявляющимся в определенных условиях.

Во всех случаях, когда проводится сравнение и отбор информации, это происходит на основе их оценки по качеству. На линиях обратной связи всегда идет сопоставление реального результата некоторого действия с тем, который закодирован в программе. Это всегда означает прежде всего оценку по качеству информации. Если информация из внешней среды дает указания на существование пищевых материалов, то прежде всего происходит их апробирование - сопоставление с требуемым материалом по его качеству. Если биоценоз получает информацию о новом варианте организмов (через его деятельность), то всегда идет сопоставление нового варианта с прежней нормой. В борьбе за существование отбор нового варианта происходит не на основе количества, а только по качественным показателям (в сравнении с нормой).

Самоинструктирующий характер процесса отбора приводит к тому, что уменьшается диссипация, так как уменьшается разнообразие элементов-признаков. А это, в свою очередь, уменьшает устойчивость системы. Система не просто удаляется от равновесного состояния, а удаляется с возрастающей скоростью, так как в отборе побеждают более совершенные структуры, возникающие раньше других.

Одним из условий возникновения самоорганизации является реализация отбора информации, имеющей определенную меру качества (ценность). Информация обретает ценность в конкретном процессе ее использования. Для того чтобы начался процесс самоорганизации, необходимо, чтобы отбор происходил при определенных условиях, а именно: система должна быть далекой от равновесного состояния; интенсивность роста числа элементов должна быть достаточной для того, чтобы вывести систему из устойчивого состояния.

Если скорость роста числа новых элементов невелика, то независимо от начальных данных через определенное время установится стационарное состояние. Скорость роста числа новых элементов должна превышать скорость отмирания "старых" элементов. Процесс роста должен иметь "автокаталитический" характер, т.е. появление нового признака у одного элемента должно вызывать появление того же признака у других элементов. Если скорость роста будет меньше скорости отмирания, то система не будет обладать внутренней способностью к росту, которая необходима для отбора против менее эффективных признаков. Подобная система несла бы в себе всю бесполезную информацию предшествующих элементов-признаков, которая в конце концов блокировала бы дальнейшую эволюцию. Для реализации отбора необходима избыточность информации.

В самоорганизующейся системе возможный максимальный беспорядок увеличивается за счет присоединения новых элементов к системе. Но простое добавление элементов в систему еще не превращает ее в самоорганизующуюся. Во время добавления элементов к системе энтропия системы должна сохраняться постоянной. Для выполнения этого условия необходимо выделение отрицательной энтропии из окружающей среды, т.е. дополнительный ввод энергии, информации в систему, который выражается в передаче накопленной информации из внешней среды в систему.

С возрастанием ценности связано и возрастание способности биологической системы к отбору ценной информации. Эта способность велика у высших животных, органы чувств которых предназначены для такого отбора. Отбор ценной информации лежит в основе творческой деятельности человека. Такой отбор не требует дополнительных энергетических затрат - энергетическая стоимость одного бита информации не зависит от ее ценности.

Естественный отбор означает сравнительную оценку фенотипов применительно к данной экологической нише, т.е. поиск оптимальной ценности.

Источником одной интересной аналогии служат шахматы. Согласно теории Стейница, следует играть позиционно, накапливая малые преимущества. Когда они достаточны, шахматист должен искать комбинационный решительный путь к выигрышу. Нетривиальность этой теории, подробно аргументированной Э.Ласкером, заключается в следующем: если позиционные преимущества не используются в надлежащий момент - они рассеиваются. Ласкер писал: "У мастеров комбинационная и позиционная игра дополняют друг друга. При помощи комбинации шахматист стремится опровергнуть ложные ценности, а путем позиционной игры он старается закрепить и использовать истинные ценности".

Ласкер рассматривал шахматы как модель "жизненной борьбы", но ему не приходило в голову, что шахматы могут служить моделью естественного отбора, борьбы за существование: накопление малых преимуществ подобно микроэволюции, переход к комбинации подобен макроэволюции, своего рода фазовому переходу.

Теория функциональных систем, сформулированная выдающимся физиологом академиком П.К.Анохиным, утверждает, что движущий стимул поведения человека и животного - полезный приспособительный результат. Им могут быть оптимальное давление крови, достаточное содержание в ней кислорода и питательных веществ, внешние факторы, скажем, пища, вода, итоги социальной деятельности. Во имя достижения поставленных целей в организме создаются временные, "рабочие" объединения структур мозга, различных органов, систем, которые мобилизованы для выполнения отдельной функции. Эта концепция описывает общие принципы, по которым складывается физиологическая архитектура таких объединений.

Поисковая активность организма - один из важнейших факторов выживания. Она повышает интенсивность обмена информацией с внешней средой, тем самым способствует повышению используемости новых организационных структур, возникших во время стресса.

Современная теория стресса, разработанная великим ученым Гансом Селье, утверждает, что под влиянием сильного внешнего стимула после кратковременного периода перестройки, так называемой адаптации, организм вступает в состояние повышенной устойчивости. Но через более или менее длительное время при продолжении внешнего воздействия этот период внезапно и без всяких дополнительных условий сменяется фазой истощения, когда сопротивляемость резко падает. Существуют факты, противоречащие этой теории. Некоторые ученые отводят решающую роль в устойчивости организма поисковой активности.

Если поиск прекращается, а потребность в нем сохранена, то невозможность ее удовлетворения приводит к отрицательным переживаниям и понижает устойчивость организма. Если же таковая потребность ослаблена или отсутствует, то низкий уровень активности может и не сопровождаться отрицательными эмоциями, но и в этом случае субъект остается повышенно уязвимым для внешних вредных воздействий.

Поисковая активность повышает интенсивность процесса возникновения новых функциональных структур, необходимых "для достижения цели", для отражения влияния вредных факторов,

Обращаясь к вышеизложенной концептуальной модели развития, отметим, что этапу преобразующего отбора соответствует состояние неустойчивости, т.е. этап зарождения и формирования новой системы. Переход от этапа формирования к эволюции отобранного состояния можно рассматривать как скачок в развитии.

Исследования процесса самоорганизации показали, что на организованность системы, т.е. на ее энтропию, влияют в основном два параметра: интенсивность роста числа элементов в системе и интенсивность использования элементов в процессе функционирования системы. Рост числа элементов в системе может привести систему в неустойчивое состояние и создаст предпосылки дня отбора наиболее ценных для развития системы элементов. Ценность же элементов определяется в процессе их использования. Чем выше интенсивность роста числа элементов в системе, тем быстрее система стремится к неустойчивому состоянию, приближая момент скачкообразных изменений. Но переход на новый качественный уровень структурной организации произойдет лишь тогда, когда интенсивность использования, которая играет роль организатора в системе, будет достаточно велика для того, чтобы уменьшить энтропию в системе и перевести систему в новое устойчивое состояние. Таким образом, изменяя параметры системы, а именно интенсивность роста числа элементов и интенсивность их использования, мы можем инициировать процесс самоорганизации в системе, замедлять или ускорять его. При этом мы можем перевести систему на новый, более совершенный уровень развития или разрушить ее.

Гибель системы может произойти в двух случаях. Во-первых, когда случайные флуктуации во внешней среде приводят к гибели отдельных элементов системы, к разрушению взаимосвязи между ними, в результате чего система уже не способна выполнять заданные функции. Во-вторых, когда нет использования информации о тех или иных свойствах элементов системы в процессе функционирования во внешней среде. Нет использования, а следовательно, и накопления информации во внешней среде, в результате чего нарушается прямая связь системы с внешней средой. Нарушается работа регулирующих механизмов, что приводит к дезорганизации системы и, как следствие, к ее гибели.

Рассмотренная модель процесса самоорганизации системы позволяет сформулировать основные требования к математической модели.

Прежде чем приступить к анализу процесса развития системы, нужно определить те признаки элементов, которые являются инвариантами для исследуемой группы элементов. И уже для этих выбранных элементов-признаков рассматривать степень упорядоченности, рассматривать рост и отмирание именно этих признаков.

Модель должна связывать динамические характеристики системы (интенсивность роста и использования элементов-признаков) с функцией состояния системы, которая характеризует изменение ее упорядоченности, т.е. с энтропией. Модель должна быть нелинейной, так как она должна отражать и количественные и качественные изменения в системе. В модели должен быть отражен механизм обратной связи системы со средой.