**СИНЕРГЕТИКА И МОЗГ**

В последние десятилетия широкое применение в научном познании получили весьма общие междисциплинарные концепции и методы исследования, которые дают возможность отобразить закономерности, свойственные широкому классу взаимосвязанных явлений и процессов. К ним относятся в первую очередь системный метод и многочисленные его приложения, в том числе и кибернетика, как общая теория управления в технических, живых и социально-экономических системах. Использование идей и приемов исследования, разработанных в теории систем и кибернетике, позволило по-новому взглянуть на многие механизмы функционирования и развития живых систем. Достаточно отметить, что на этой основе удалось понять и объяснить многие особенности регуляции жизнедеятельности, в частности механизмы гомеостаза, а также расшифровать структуру генетического кода.

Менее успешными оказались попытки применения кибернетических идей для объяснения принципов самоорганизации и эволюции живых систем, поскольку эти идеи в основном ориентировались на функционирование хотя и весьма сложных технических систем, но организованных человеком. Поэтому о подлинной самоорганизации в данном случае вряд ли можно было говорить. Возникновение синергетики, как новой концепции самоорганизации, коренным образом изменило это положение. Во-первых, в рамках новой концепции установлено, что при определенных условиях процессы самоорганизации могут происходить уже на уровне открытых физико-химических систем, находящихся достаточно далеко от точки термодинамического равновесия.

Во-вторых, эволюция, или развитие, систем различной природы непосредственно зависит именно от уровня их самоорганизации. Чем выше такой уровень, тем большему количеству условий должна удовлетворять система. Если для гидродинамических, метеорологических и физических систем необходимыми условиями являются их открытый характер, т.е. способность обмениваться с внешней средой веществом и энергией, а также достаточная удаленность от равновесия, то уже в химических системах важнейшим фактором выступают автокаталитические реакции, а для самых простейших живых систем решающую роль начинают играть процессы самообновления и некоторые другие.

В-третьих, синергетика проясняет роль процессов самоорганизации не только в эволюции живых систем, но и в эволюции глобального характера, начиная от возникновения элементарных частиц, атомов и молекул и кончая образованием гигантских космических систем и галактик, с одной стороны, и, с другой - от одноклеточных организмов до такой сложнейшей живой системы, как мозг.

Идеи и концепции синергетики не только позволяют в новом свете увидеть структурно-функциональную организацию и деятельность мозга, но наметить новые подходы к изучению принципов, закономерностей и механизмов этой деятельности. В то же время плодотворность синергетических подходов к изучению мозга во многом определяется уже сложившимся пониманием основных принципов и закономерностей мозговой деятельности. Один из важнейших вопросов, которые необходимо рассмотреть при использовании идей синергетики, состоит в определении соотношений процессов организации и самоорганизации в отражательной, управляющей и прогнозирующей деятельности мозга. Принято считать, что процессы организации определяются внешними по отношению к системе (мозгу) воздействиями, в то время как процессы самоорганизации протекают без таких воздействии, являясь всецело внутренними процессами. Из такого понимания вытекает, что ответы мозга на внешние воздействия реализуются на основе процессов организации, а внутренняя активность мозга осуществляется на основе процессов самоорганизации. Отсюда следует, что выяснение соотношений процессов организации и самоорганизации связано с оценкой соотношения реактивности и активности в деятельности мозга.

Хорошо известно, что долгое время проблема соотношения активности и реактивности решалась на альтернативной основе. Однако, более глубокое проникновение в сущность механизмов мозговой деятельности, использование современных философски-методологических и общенаучных положений убедительно показало несостоятельность альтернативного подхода к проблеме активность - реактивность. Современное понимание этой ключевой проблемы исходит из недопустимости абсолютизации моментов активности и реактивности, их противопоставления друг другу. В действительности активность мозговой отражательной, прогнозирующей и управляющей деятельности содержит моменты реактивности, и, соответственно, реактивные составляющие мозговой деятельности непременно содержат активное начало. При этом понимание единства активности и реактивности в мозговой деятельности зиждется на историческом подходе к этой проблеме. Это прекрасно понимал, в частности, А.А.Ухтомский, мысли которого по этому поводу и сегодня не утратили своего значения. Пониманием активности субстрата как реакции «... не уничтожается спонтанное действие субстрата: оно лишь ставится в определенные границы в его противоположении факторам среды и от этого оно становится более определенным по содержанию и значению.» «Рефлекс, - писал далее А.А.Ухтомский, - рисуется не чисто пассивным передвижением костяного шарика под влиянием полученного им удара извне; так рефлекс мог изображаться, пока надо было подчеркнуть в особенности его мотивировку из среды. Но в полноте своей он представляется встречею во времени двух условий: с одной стороны, деятельности заготовленной или сложившейся в самом субстрате (клетке) за предыдущую его историю, и, с другой стороны, внешних импульсов текущего момента».

Оценивая эти положения А.А.Ухтомского, необходимо подчеркнуть два принципиальных обстоятельства. Понимание активности субстрата не как абсолютной, чистой самоактивности, а как реакции, отнюдь не устраняет активности, а лишь «канализирует» ее: не абсолютная, произвольная активность, а активность в определенных границах в ее противостоянии факторам среды. Все живые организмы - открытые системы, сквозь которые проходят поступающие извне потоки вещества, энергии и информации. Именно эти потоки предопределяют активность живых систем, их жесткую зависимость от внешних факторов. По этой причине любые попытки абсолютизировать, автономизировать активность неправомерны. Активность - не самодовлеющее качество, а результат, момент взаимодействия живой системы и окружающей среды. С другой стороны, ответ мозга - рефлекс - непременно включает и накопленную, и закрепленную историю взаимоотношений особи со средой. Уже одно это обстоятельство - не говоря о других - придает реакции активный характер. Активность и реактивность в деятельности мозга тесно связаны, образуя диалектическое единство. Любые внешние воздействия, которым принадлежит организующая роль, реализуются через внутренние условия, включающие самоорганизацию. Эти внутренние условия резко ограничивают деятельность внешних факторов и глубоко преобразуют их эффекты. Как указывал Гегель: «То, что называется причиной, оказывается здесь, конечно, имеющим другое содержание, чем действие, но это потому, что то, что действует на живое, определяется, изменяется и преобразуется этим живым самостоятельно, ибо живое не дает причине вызвать ее действие, то есть снимает ее как причину». Говоря о внутренних условиях мозговой деятельности, следует иметь в виду, что эти условия не статичны, а представляют собой комплекс текуче-подвижных состояний (процессов) различных мозговых структур. Если эти внутренние условия модифицируют эффекты внешних факторов, то и внешние факторы модифицируют внутренние условия. Тезис о том, что внешнее реализуется через внутренние условия должен быть дополнен положением о том, что внешнее не просто застает определенные внутренние условия, но и модифицирует их. Эти модификации направлены на определенное изменение эффективности мозгового ответа. Складывается определенная кооперация: внешние факторы не просто модифицируют внутренние условия, но модифицируют их строго направленным образом, при котором модификация облегчает организацию адекватной и эффективной ответной реакции. Внешний фактор «заставляет» работать на себя модифицированные им внутренние условия. Иными словами, внешний фактор так изменяет внутреннее состояние, что облегчается кооперация различных мозговых элементов в единую синергетическую систему, формируется кооперативный ответ. Ответ на внешнее воздействие по необходимости «обрастает» продуктами самоорганизации. Реактивность становится активной. Для оценки роли процессов организации и самоорганизации в деятельности мозга важное значение имеют также соотношения между отражением и активностью. Философско-методологическим аспектам этой проблемы посвящена обширная литература.

Характеризуя эти соотношения, Г.А. Давыдова пишет: «Нечто тем более активно, чем более разнообразную и полную (многопараметровую) информацию от окружающей среды оно способно получать и усваивать»3. Отражение и внутренняя активность выступают в неразрешимом единстве, реализуя кооперативные принцип взаимодействия. В свете этих положений содержательность процессов самоорганизации тем выше, чем выше структурно-функциональная организация субстрата и чем выше уровень его отражательной деятельности. Применительно к мозгу это означает, что процессы самоорганизации в нем развертываются на базе высокосодержательной отражательной деятельности.

Идеи синергетики позволяют по-новому оценить взаимодействие элементов и системы в деятельности мозга. Хорошо известно, что элементы, функционируя в составе системы, обладают иными свойствами, чем вне ее. Эти свойства определяются, разумеется, природой элементов, но проявляются лишь при определенных условиях, при включении в систему. Система не «навязывает» элементам чуждые им свойства, а лишь создает условия реализации не проявляющихся в иных условиях свойств. Это общее положение приобретает новое звучание в свете представлений о кооперации элементов в ходе самоорганизации. Кооперация различных элементов, подчас весьма разнородных, возможна на основе какого-то общего их свойства, способствующего их объединению в целостную систему (динамическую структуру). Явления самоорганизации в деятельности мозга основаны, очевидно, на том, что мозг как целое - актуализирует в элементах (клеточные элементы, их микросистемы-модули, функциональные блоки, полушария мозга) наряду с прочими и такие свойства, которые облегчают кооперацию в целостные системы. Таким путем раскрывается важнейший аспект взаимодействия элементов и системы - выявление и актуализация системой свойств элементов, содействующих кооперации. По-видимому, именно в этом состоит сущность одного из важнейших механизмов интегративной деятельности мозга. Наглядной иллюстрацией приобретения элементами таких способствующих кооперации свойств является уравнивание функциональной подвижности - лабильности - нервных элементов, обеспечивающее синхронизацию их активности и формирование рабочих ансамблей.

Согласно И.Пригожину и И.Стенгерс, в системе, находящейся в термодинамическом равновесии, т.е. в устойчивом фазовом состоянии, составляющие систему элементы ведут себя независимо друг от друга, игнорируя остальные элементы. Такие независимые элементы И.Пригожин и И.Стенгерс образно назвали гипнонами (спящими). Но при переходе системы в неравновесное состояние гипноны «пробуждаются» и устанавливают друг с другом когерентную связь, между ними устанавливаются корреляции. Самое существенное при этом состоит в том, что «система ведет себя как единое целое и как если бы она была вместилищем дальнодействующих сил. Несмотря на то, что силы молекулярного взаимодействия являются короткодействующими (действуют на расстоянии 108 см) система структурируется так, как если бы каждая молекула была "информирована" о состоянии системы в целом. Важно также то, что согласование всех элементов осуществляется не одновременно, а путем возникновения в системе очагов когерентности, которые при дальнейшем удалении от равновесия охватывают всю систему. Возникает новая структура. При этом «дальнодействующие корреляции организуют систему еще до того, как происходит макроскопическая бифуркация. Возникающие в результате организации-самоорганизации нейронные ансамбли сохраняются за счет пространственно-временных корреляций. При этом неизмеримо большую роль играют временные корреляции, что в частности, подчеркивает Дж.Каррери: «Дело в том, - пишет он, - что для живой природы в первую очередь важен функциональный, а не пространственный порядок и корреляция между событиями, а не между положениями в пространстве.

Принцип формирования и поддержания жизни на основе синхронизации-когерентности их элементов в равной мере приложим к синергетическим системам всех уровней - от простейших неорганических до сложных биологических. Эволюция «обнаружила» этот принцип и закрепила его в виде синхронизирующих аппаратов мозга. Мозг вместо того, чтобы при каждом «фазовом переходе», смене состояний, организации любой, в особенности - интегративной деятельности претерпевать изначальную синхронизацию элементов, их когерентность, включает существующие аппараты синхронизации, которые и приводят временные параметры соответствующих элементов - нейронов, нейронных микросистем в состояние когерентности. При этом характерное для синергетической самоорганизации предварительное возникновение зон нуклеации находит свое выражение в высокоорганизованной системе - мозге локальных фокусов синхронизации активности в различных зонах мозга, объединяемых затем в единую систему с совершенно определенной топографией. Видный советский электрофизиолог М.Н.Ливанов в ходе многолетних исследований выявил ключевую роль синхронизации биоэлектрической активности мозга в его интегративной деятельности. М.Н.Ливанов и его сотрудники показали, что высокий уровень пространственной синхронизации биопотенциалов облегчает распространение возбуждения. Многочисленные целенаправленные исследования позволили М.Н-Ливанову обосновать представление о том, «что в различных состояниях покоя, а также в процессе обучения у животных и интеллектуальной деятельности у человека возникают закономерные изменения пространственно-временной организации потенциалов, относящихся к различным структурам головного мозга... Эти изменения пространственно-временной организации потенциалов имеют функциональное значение и, по-видимому, обусловлены формированием характерного для каждой конкретной ситуации паттерна возбуждения, обеспечивающего реализацию поведенческого или интеллектуального акта.

Формулируя главный итог проведенных им и его сотрудниками исследований, М.Н.Ливанов указывал, что понятие пространственной синхронизации не только значительно расширяет представления о параметрах электрической активности мозга, характеризующих те или иные функции состояния (что важно для возможности прогнозирования последующей деятельности), но и позволяет приблизиться к пониманию нейрофизиологических механизмов системной деятельности мозга.

Итак, облегчая взаимодействие нервных элементов, дистантная синхронизация выступает, как эффективнейший фактор их кооперации в определенную систему. Уравнивание лабильности (функциональной подвижности) нервных элементов может наступать при воздействии внешних стимулов. В этой ситуации внешний стимул так изменяет временные параметры нервных элементов, что кооперация этих элементов облегчается, формируется целостная изолабильная нервная популяция, деятельность которой лежит в основе ответа на внешний стимул. Это означает, что внешний стимул создаст условия реализации своего собственного эффекта. Эта возможность обеспечивается, в частности, участием так называемых неспецифических систем мозга. Главная функция этих систем состоит в регуляции функционального состояния мозга, уровней сна и бодрствования, модуляции передачи сенсорной информации, регуляции двигательной и вегетативной активности и т.д.

В то же время неспецифические системы мозга испытывают на себе нисходящее влияние коры мозга и вместе с ней образуют самоорганизующуюся систему, регулирующую те свойства мозговых элементов, которые обеспечивают их кооперативные эффекты. Изменяя функциональное состояние массы элементов мозга, неспецифические системы таким путем регулируют процессы самоорганизации. Важно подчеркнуть, что любая афферентная посылка (сигнал извне) приводится к высшим мозговым центрам не только по специфическим проводящим путям, но одновременно включает неспецифические системы, регулирующие уровень функциональной активности мозга, и тем самым способствуют организации эффективного, полноценного мозгового ответа. В формировании этого ответа участвуют процессы организации и самоорганизации, выступающие в неразрывном единстве.

В свете концепций синергетики различного рода кооперативные эффекты составляют главный принцип и механизм интегративной деятельности мозга. Взаимодействие разных по структурно-функциональной организации, иерархическому уровню и другим параметрам мозговых образований приводит к формированию целостной мозговой системы, реализующей ту или иную форму инте1ративной деятельности. Конкретные механизмы такого взаимодействия интенсивно исследуются современной нейробиологией, а использование синергетических подходов может способствовать их осмыслению под определенным углом зрения. Существенную особенность мозговых кооперативных эффектов составляет взаимодействие более или менее однородных и разнородных мозговых элементов. Полифункциональность мозговых структур обеспечивает их участие в определенных разных процессах организации и самоорганизации. Одна и та же структура в силу своей полифункциональности участвует в формировании мозговых функциональных органов лишь отдельными своими функциональными «гранями». Понятно, что в качестве элементов формирующихся систем выступает не та или иная мозговая структура целиком, а эти «функциональные грани». Процессы организации - самоорганизации развертываются на всех уровнях структурно-функциональной организации мозга, что выдвигает вопрос о механизмах и закономерностях межуровневых взаимодействий в ходе самоорганизации. Процессы самоорганизации развертываются по горизонтали - в пределах одного уровня, и по вертикали - в виде взаимодействия. элементов разных уровней. Горизонтальная и вертикальная составляющие теснейшим уровнем связаны друг с другом так, что кооперативные эффекты на каждом из уровней ориентированы на взаимодействие с элементом одного уровня и с элементами разных уровней. При этом свойства, облегчающие кооперативные эффекты с элементами того же уровня, могут в то же время способствовать облегчению кооперации с элементами других уровней, и наоборот. Тот факт, что процессы организации - самоорганизации развертываются на разных структурных уровнях мозговой организации изначально придает этим процессам системный характер. Возникающие в далеких от термодинамического равновесия условиях диссипативные структуры при всей широте диапазона несут на себе неизгладимую печать внешних условий своего возникновения (особенности проносящихся через систему потоков энергии вещества и информации) и внутренних детерминант (особенности элементов, их функциональное состояние и т.д.). Структура этих диссипативных систем представляет собой по существу овеществление условий своего возникновения и существование - до следующей бифуркации. Это дает возможность подчеркнуть два важных обстоятельства. При самом общем подходе мозг своей структурой, как и любая живая система, олицетворяет условия своего возникновения. Общие принципы структурной организации мозга, следовательно, не случайны, а глубоко закономерны, в них воплощены те условия, которые диктовали именно такие, а не иные пути самоорганизации. В то же время, поскольку деятельность мозга, как и любых живых систем, реализуется на основе организации - самоорганизации, его (мозга) структурная организация должна быть такой, чтобы обеспечивать возможность формирования на основе этих процессов микро- и макро-ансамблей (функциональных систем), реализующих определенную деятельность мозга. С этой точки зрения принципиальной стороной мозговой организации является наличие в ней жестких и гибких звеньев (по Н.П.Бехтеревой). Жесткие звенья олицетворяют собой те этапы организации-самоорганизации, которые изначально и с необходимостью включались в эти процессы при любых (естественно, заданных средой) условиях. Иными словами, жесткие звенья - это овеществленные этапы самоорганизации, общие для множества ситуаций «организм - среда». Гибкие же звенья обеспечивают формирование тех «достроек», благодаря которым возникают высокоэффективные рабочие ансамбли, ориентированные на решение определенных задач, составляя их мозговое обеспечение. Совершенство мозга в том и состоит, что он обеспечивает оптимальные условия для развертывания процессов организации-самоорганизации. Жесткие звенья - определенные мозговые структуры - выступают как овеществленные, многократно протекавшие общие и начальные этапы любой самоорганизации, это -«застывшие» этапы функции. Вместо того, чтобы каждый раз заново воссоздавать все эти этапы, заново проходить всю шкалу этапов самоорганизации, мозг просто «включает» нужные структуры, активность которых составляет предпосылку функционирования гибких звеньев. Сочетанная, интегрированная активность жестких и гибких звеньев формирует функциональные органы, адекватные текущей ситуации, которая неизбежно включает и накопленные и овеществленные следы прошлых ситуаций.

Возникавшие бесчисленное количество раз динамические структуры закрепились механизмами эволюционного процесса, превратившись таким путем из динамических в статические, воплотившись в определенном морфологическом субстрате. В ходе эволюции сохранялась и совершенствовалась и деятельность гибких звеньев мозговых систем. Это совершенствование протекала по принципу возникновения порядка из хаоса, точнее по принципу возникновения все более детерминированного, упорядоченного хаоса. Мозг, его гибкие элементы, по-видимому, все больше избавлялись от лишних, неиспользуемых степеней свободы, что ограничивало диапазон активности гибких систем, ставя эту активность в определенные рамки и совершенствуя возможности реализации активности этих систем. Следует в связи с этим подчеркнуть еще раз абсолютную неправомерность аналогий между набором независимых осцилляторов и живыми системами, которые так или иначе организованы.

Как уже отмечалось, одна из особенностей мозговых структур состоит в их полифункциональности - одна и та же структура участвует в обеспечении множества функций. Такая полифункциональность свойственна не только макро-, но и микроструктурам мозга. В то же время, полифункциональные элементы участвуют в кооперативных эффектах, обеспечивая целостную функцию. В ходе самоорганизации очевидно актуализируются те «грани» элементов, которые обеспечивают их кооперацию. В мозге, наряду с сугубо разнородными элементами существуют и более или менее однородные элементы - нейронные колонки или модули. Один из создателей этой теории Маунткасл писал: «Общая идея состоит в следующем. Крупные структуры в головном мозгу, известные как ядра (или области) новой коры, лимбическая доля, дорсальный таламус и т.п. сами состоят из повторяющихся локальных нервных цепей, модулей, которые варьируют от одной крупной структуры к другой по числу клеток, внутренним связям и способу обработки, но которые в пределах данной структуры в основном сходны... Каждый модуль представляет собой локальную нервную цепь, которая обрабатывает ин4юрмацию, передает ее со своего входа на выход и при этом подвергает ее трансформации, определяемой общими свойствами структуры и ее внешними связями. Модули объединяются в структуры - например, в ядре или в области коры -общей или доминирующей связью, потребностью в наложении функции на определенное топографическое представительство или каким-нибудь иным фактором. Группа модулей, составляющая структуру, сама может быть разбита на подгруппы фазными связями с обособленными таким же образом подгруппами в других крупных структурах.

Предполагается, что каждый корковый модуль связан с несколькими другими корковыми модулями в этом же полушарии и с зеркальным фокусом в противоположном полушарии. Этот зеркальный фокус, в свою очередь, посредством межполушарных связей связан с исходным модулем. Такие структурные особенности создают предпосылки для внутриполушарных и межполушарных взаимодействий, служат материальной основой для процессов самоорганизации, охватывающей оба полушария мозга.

Подгруппы связанных модулей в разных мозговых структурах образуют распределенные системы. «Такая распределенная система предназначена для обслуживания распределенной функции. Один модуль структуры может быть членом нескольких (но не многих) таких систем. Следует попутно отметить, что корковая колонка (модуль) состоит примерно из 110 нейронов и 260 в зрительной коре. Подсчеты показали, что в коре человека содержится около 50 млрд. нервных клеток - намного больше, чем полагали еще сравнительно недавно.

Одна из форм активности самоорганизующихся систем - это так называемый «режим с обострением». Нелинейность, многокомпонентность, неоднородность системы приводит к тому, что локальные процессы диссипации в разных компонентах системы приобретают разный характер и приводят к разным последствиям. Среди этих последствий могут быть более или менее выгодные (для системы в целом). Более выгодные быстро развивающиеся процессы приобретают главенствующее значение, подавляя другие процессы, становятся вектором развития системы. Такие конкурентные отношения хорошо известны в биологии. Выступая как общебиологические закономерности, в деятельности мозга они приобретают специфическую форму в виде феномена отрицательной индукции и сопряженного торможения. Суть этого феномена состоит в том, что возникающий в мозге очаг возбуждения тормозит окружающие нейронные популяции или целые мозговые структуры. Это торможение представляет собой по функциональному смыслу подавление помех, и, следовательно, оптимизацию деятельности, связанную с активностью возникшего очага. Эта оптимизация включает «доорганизацию» очага и совершенствование соответствующей деятельности. «Режим с обострением», т.е. отрицательная индукция или сопряженное торможение является одной из фундаментальнейших закономерностей нейрофизиологии, феноменология которого детально описана применительно к различным образованиям центральной нервной системы. Своеобразие этого феномена в центральной нервной системе определяется тем, что режим с обострением связан с активностью не независимых осцилляторов, а с субстратом, представляющим собой высшую форму организации материи. Есть много оснований считать, что эволюция нашла и закрепила такую структурную организацию нервной системы, которая «предусматривает» наиболее эффективную реализацию режима с обострением. Этот режим, вероятно, лежит в основе организации любой биологической функции, достигая наивысшей эффективности и совершенства на уровне центральной нервной системы. Организация-самоорганизация в режиме с обострением обеспечивает не только эффективность соответствующей функции, но, поскольку речь идет о мозге, обеспечивает адекватность соответствующих высших мозговых реакций и, в конечном счете, отражательной деятельности мозга. Выражением режима с обострением может служить и так называемое фокусированное внимание - один из важнейших физиологических компонентов познавательной деятельности. Мозг, функционирующий не по принципу экрана, а по принципу активного радара, постоянно прощупывающего среду, реализует эту свою «прощупывающую» деятельность на основе режима с обострением. Фокусированное внимание определяется доминирующей потребностью, на удовлетворение которой направлена текущая деятельность организма. В самом общем виде режим с обострением есть не что иное, как переход «от хаоса к порядку». Реализация этого принципа требует определенной степени хаотичности системы. И действительно, имеется немало прямых доказательств определенной хаотичности функционирования живых систем. Классическим примером такого рода является ритм сердечных сокращений: его излишняя упорядоченность, чрезмерная регулярность - плохой прогностический признак. То же касается и головного мозга. Не случайно А-А.Ухтомский называл центральную нервную систему царством неопределенности. Формула «переход от хаоса к порядку» для живых систем на самом деле означает переход к оптимальному, а не максимальному порядку.

В процессе организации-самоорганизации интегративной деятельности мозга фундаментальную роль играют события, развертывающиеся на субклеточном-молекулярном уровне его структурно-функциональной организации. Одной из главных особенностей функционирования этого уровня структурной организации является тесное взаимодействие всех нейрохимических механизмов мозга. На основе такого взаимодействия реализуются те или иные аспекты интегративной деятельности мозга. Общий принцип взаимодействия нейрохимических систем мозга предполагает выявление и функциональную оценку конкретных путей взаимодействия, раскрытия функционального смысла этого взаимодействия, тем более, что не все пути таких взаимодействий равноценны для разных форм деятельности. Одна из важнейших характеристик нейрона - состояние его рецепторного аппарата, определяющего чувствительность к различным химическим сигналам. В целостном функционирующем мозге осуществляется тончайшая регуляция чувствительности нервных клеток к химическим сигналам, и это, возможно, одна из наиболее эффективных линий регуляции способности нейронов к кооперативным эффектам. Структурно-функциональная организация нейрохимического аппарата мозга такова, что она обеспечивает возможность формирования нейронных ансамблей, обеспечивающих различные интегративные эффекты: восприятие, формирование мотивационных возбуждений, реализацию подкрепления, формирование временной связи и т.д.

Тесная взаимосвязь нейрохимических механизмов обеспечивает тонкую регуляцию кооперативных эффектов. Известно множество синергетических эффектов, в основе которых лежат механизмы регуляции синтеза, секреции и инактивации химических посредников. Известно например, что выделяющиеся из нервных окончаний нейропептиды изменяют чувствительность постсинаптической мембраны к другим химическим посылкам. Путем такой кооперации повышается эффективность синаптической передачи.

Хорошо известная зависимость процесса самоорганизации от состояния самоорганизующихся элементов, позволяет по-новому подойти к пониманию ряда весьма своеобразных феноменов в деятельности мозга, привлекающих большое внимание исследователей и пока во многом остающихся не вполне понятными. Речь идет, прежде всего, о так называемом феномене «транспорта памяти». Суть этого феномена заключается в том, что информация, приобретенная мозгом при обучении или характеризующая некоторые формы патологии, с помощью извлеченных из мозга химических субстратов может быть передана «необученному» мозгу. Такой «транспорт памяти» одно время рассматривался как убедительный аргумент в пользу представления о кодировании приобретаемой информации в химических субстратах как основном механизме памяти. Число сторонников такой трактовки главным образом в свете новых точных фактических данных и ряд теоретических соображений значительно уменьшилось. Но сам феномен «транспорта памяти» в той или иной форме оказался воспроизводимым, что, естественно, побуждает искать ответа на вопрос о его природе. В свете идей самоорганизации ответ может состоять в следующем. В ходе обучения изменяются свойства нервных элементов, участвующих в этом процессе. Изменяются, естественно, и их химические свойства. В результате этих перестроек в обучающемся мозге могут возникать химические факторы, отражающие не содержание приобретаемой информации, т.е. память в собственном смысле, а состояние нервных элементов. Находящиеся в определенном состоянии элементы самоорганизуются определенным образом, формируя соответствующую динамическую структуру. Очевидно, что если такие же свойства придать нервным клеткам мозга животного-реципиента, то в нем путем самоорганизации может возникнуть многонейронная система, в каких-то пределах подобная система, возникшей в мозге обучающегося животного-донора. Таким образом, «транспорт памяти» в действительности - это транспорт содержащихся в транспортируемом субстрате информации о состоянии нервных элементов мозга донора. Разумеется, это предположение нуждается во всесторонней экспериментальной проверке. Тем не менее, такой подход вполне правомерен. Он может служить иллюстрацией высказанного выше положения о том, что идеи синергетики намечают и новые подходы к изучению деятельности мозга. В пользу правомерности именно такого подхода может свидетельствовать и другой интересный феномен, получивший название «диссоциированного обучения». Суть этого феномена состоит в том, что мозг обученный в одном состоянии (например, на фоне введения какого-нибудь фармакологического препарата) «забывает» о приобретенной информации при тестировании в ином или нормальном состоянии. Стоит вернуть мозг в то состояние, в котором он обучался, как полностью воспроизводится приобретенная информация. Очевидно, и здесь определенную роль могут играть явления самоорганизации, обусловленные состоянием нервных элементов.

Одной из интенсивно исследуемых в последние годы форм взаимодействия мозговых образований является межполушарное взаимодействие. К настоящему времени твердо установлена функциональная специализация мозговых полушарий у человека и животных. Полноценная, эффективная работа целого мозга основана на тесном взаимодействии полушарий мозга, каждое из которых вносит свой вклад в решение общемозговых задач. Роль взаимного влияния полушарий четко обнаруживается при рассечении межполушарных связей («расщепленный мозг»). Целенаправленное изучение специфики функционирования и взаимодействия полушарий мозга при осуществлении им интегративной деятельности связано с именем выдающегося нейрофизиолога Р.Сперри. Впоследствии в разработку этой масштабной и принципиальной проблемы включилось множество исследователей и в настоящее время это направление представлено множеством работ, позволивших внести много нового в понимание механизмов межполушарного синтеза. Показано, что межполушарное взаимодействие реализуется не только на уровне целых полушарий, но и на уровне отдельных микросистем нейронов, образующихся в разных полушариях и структурно связанных друг с другом. Это создает предпосылки не тотального, а избирательного взаимодействия между полушариями. Эти взаимодействия, по-видимому, включают и такие изменения свойств контрлатерального полушария, которые облегчают кооперацию полушарий и превращение их в единую высокоэффективную систему.

Формирование «порядка из хаоса» путем образования динамических структур может иметь прямое отношение к механизмам памяти. Существует несколько форм или этапов памяти, главными из которых являются кратковременная память и долговременная память. Кратковременная память обычно характеризуется как динамическая, лабильная, а долговременная, как стабильная, закрепившая в себе информацию, полученную из кратковременной памяти. Можно допустить, что на динамическом этапе (кратковременная память) возникают динамические структуры, архитектура которых определяется комплексом внешних и внутренних факторов. Динамическая структура - это процесс, поддерживаемый соответствующими внешними и внутренними факторами. Однако процесс этот затухающий, благодаря чему информация удерживается в кратковременной памяти ограниченное время. В случае достаточной значимости воспринятой информации, содержащейся в динамической структуре, она (информация) каким-то образом передается в долговременную память, где может храниться в течение всей жизни особи. Можно думать, что под влиянием определенных внешних воздействий инициируются процессы самоорганизации, продолжающиеся после окончания действий раздражителей и приводящие к формированию динамической структуры, основы кратковременной памяти. Определенная длительность существования этой динамической структуры необходима и достаточна для оценки значимости воспринятой информации и перевода ее в долговременную память. Интересно, что извлечение информации из хранилищ долговременной памяти связано с переводом соответствующей энграммы в динамическую форму. Это означает, что как ввод информации в мозг, так и ее извлечение (воспроизведение) осуществляется на основе нейродинамических процессов, в которых, возможно, участвует индуцированная самоорганизация. Хорошо известно, что память, как и любая сложная функция, носит системный характер, так что есть все основания говорить о временной и структурно-функциональной организации памяти.

Не входя в детальное рассмотрение различных аспектов системной организации памяти, важно подчеркнуть, что ее структурно-функциональная организация включает, как уже отмечалось, жесткие и гибкие звенья. Обучение животных, а, возможно, и человека, не есть каждый раз формирование абсолютно новой энграммы, построенной целиком из «гибких» звеньев. Исследование нейроморфологических основ памяти позволило выявить ряд структурных систем, включающихся в формирование различных знграмм. Эти предсуществующие, генетически детерминированные морфологические системы представляют собой жесткие звенья энграмм. Обучение складывается из двух классов процессов - активации соответствующих предшествующих морфологических систем и их достраивания за счет «гибких» звеньев. При всей автономности такого достраивания, в основе которого лежит самоорганизация гибких звеньев, интегрирующихся с жесткими, такая самоорганизация непременно несет на себе печать канализации. В конечном итоге - это направляемая, детерминированная самоорганизация, самым главным, принципиальным моментом которой является вырожденность. Мы ниже вернемся к этой глубокой идее Эделмена, но говоря о принципах формирования энграмм необходимо еще раз со всей настоятельностью подчеркнуть значение принципа вырожденности, благодаря которому одна и та же информация может быть «декодирована» разными путами.

В свое время А.А.Ухтомский указывал, что организм, выработавший определенный новый условный рефлекс, есть во многом новый организм. В связи с этим, естественно, возникает вопрос. Вернется ли к прежнему состоянию этот организм, утратив новый рефлекс. Ответ на этот вопрос в самой общей форме вытекает из положения о том, что приобретение нового условного рефлекса - не просто добавка еще одной энграммы к ранее заготовленному фонду, но и перестройка всего этого фонда. Но это означает, что возврат к прежнему состоянию при гипотетической утрате нового рефлекса (новой энграммы) практически невозможен, как впрочем, невозможна и утрата новой энграммы по той простой причине, что эта новая энграмма «включилась» в фонд ранее приобретенных энграмм, вступив с ними в определенную связь и в той или иной степени реорганизуя их. В этой связи возникает проблема необратимости в деятельности мозга. При рассмотрении этой проблемы целесообразно напомнить об общебиологической закономерности необратимости эволюции.

Закон необратимости эволюции состоит в том, что «исторически измененный генотип с его нормой реакции никогда не восстанавливается в прежнем виде, даже если бы восстановились прежние соотношения между организмом и средой»". Необратимость эволюции, ее неповторимость связаны с факторами случайности, принципиально неповторимой. Это положение, очевидно, приложимо к любым живым системам, в том числе - к мозгу. Любые переживаемые организмом и мозгом состояния неизбежно включат элементы случайности и уже по этой причине необратимы. Большое место в синергетике занимают закономерности фазовых переходов. Явления типа фазовых переходов, по-видимому, играют существенную роль в деятельности мозга. Эти явления могут носить общемозговой характер или находить свое выражение в отдельных мозговых функциях. К числу первых могут быть отнесены изменения функционального состояния, формирование состояний, соответствующих различным условным рефлексам, по Б.И.Котляру, смены фаз сна, переключение, по Э.А.Асратяну. По принципам фазовых переходов, вероятно, реализуются феномены типа «озарений», «инсайтов». Больше того, есть определенные основания полагать, что явления типа фазовых переходов участвуют в «обычных» процессах обучения. Кривые обучения, отражающие ход вырабатываемого рефлекса, зачастую носят скачкообразный характер, когда на каком-то этапе обучения после серии неудачных попыток внезапно возникает выраженное состояние обученности - мозг скачкообразно перешел от незнания к знанию. Интересно, что состояние обученности может возникать не непосредственно в ходе обучения, а спустя какое-то время. Не исключено, что собственно обучение инициирует процессы, продолжающиеся после завершения обучения и приводящие к возникновению состояния обученности. При этом важно отметить, что такое состояние обученности возникает в условиях, когда после завершения обучения условный и безусловный стимулы не предъявлялись. Значит, это состояние возникло на основе инициированных обучением внутримозговых процессов, т.е. главным образом на основе самоорганизации. Самоорганизация «завершает» дело, начатое внешними воздействиями и вызванными процессами организации. При всем своеобразии и относительной автономности процессов самоорганизации, они оказываются, по крайней мере в описанной ситуации векторизованными, что лишний раз подчеркивает связь процессов организации и самоорганизации. В связи с рассматриваемым процессом следует коснуться одного из аспектов проблемы возникновения нового. Речь идет о том, что новое возникает не по частям, а «целиком», в виде системы. Это касается различных мозговых функциональных систем, возникновения новых состояний и т.д. В этом находит выражение один из общих принципов, проявляющийся, в частности, и в возникновении жизни. Характеризуя взгляды В.И-Вернадского на эту проблему, В.П.Алексеев пишет: «Возникновение жизни нельзя рассматривать как появление первого организма, ее можно рассматривать только как появление совокупности организмов. Интересно, что реорганизации мозговой активности при интегративной деятельности мозга начинается с возникновения нескольких нуклеаций, т.е. переход к новому состоянию мозга происходит не поэлементно, а системно. Идеи синергетики позволяют дополнить представления о прогнозирующей деятельности мозга. Следует прежде всего подчеркнуть, что мозг, как и все живые системы, удаленные от термодинамического равновесия, изначально активен, активность - это не свойство, а форма существования мозга. Свойственные мозгу различные градации уровня функционального состояния в любом случае поддерживают его над термодинамическим равновесием, т.е. в состоянии активности. Ни на секунду не прекращающаяся активность мозга в состоянии бодрствования находит свое выражение, в частности, в ориентировочно-исследовательской деятельности. Объектами этой деятельности являются не только новые объекты среды, но и новые стороны старых, т.е. уже частично знакомых объектов. Известно, что ориентировочно-исследовательская деятельность есть в конечном счете поиск ответа на вопрос «что делать?», и на каждый из объектов этой деятельности в ходе решения вопроса «что делать?» распространяется своя программа будущего взаимодействия с объектом. Поэтому продукты ориентировочно-исследовательской деятельности, как и любые энграммы, есть в прямом смысле «заготовка впрок», обеспечение организма множеством знаний и навыков, которые будут использованы при построении будущих взаимоотношений организма и среды, «преодоления» среды ради достижения целей поведенческой активности. В связи со сказанным целесообразно более подробно рассмотреть роль фактора новизны в организации поведения (реализации активности). Известно, что в системе потребностей, направляющих поведение, особое место занимает потребность в получении новой информации. Как отмечает П.В.Симонов, исследовательское поведение относится к группе безусловных рефлексов саморазвития, главные особенности которой состоят а их ориентации на освоение новых пространственно-временных сред, т.е. их обращенность к будущему, и невыводимость их из других потребностей живого организма, как и несводимостъ к другим мотивациям. В основе исследовательского поведения лежит самостоятельная потребность в получении информации (стимулов) с невыясненным прагматическим значением. Примечательно, что по ряду показателей, предъявление незнакомых стимулов связано с механизмами положительных эмоций. Важно подчеркнуть, что равная «отнесенность» потребности в новой информации ко всем другим потребностям и ее относительная независимость от них обеспечивает этой потребности уникальную роль. Эта роль заключается в том, что приобретаемая на основании этой потребности «чистая информация» изначально не имеет мотивационной окраски, но тем не менее она может использоваться при удовлетворении любых других потребностей. Итак, потребность в новой информации ориентирована на будущее, потому что приобретаемая на основе этой потребности информация есть несомненная заготовка впрок. Эта «заготовка» осуществляется независимо от текущих частных потребностей с тем, чтобы в последующем служить их удовлетворению. Вновь приобретаемая (или частично созданная) «чистая» информация «обречена» на приобретение в будущем потребностно-эмоционально-мотивационной окраски. Такая заготовка впрок только на основе новизны тем не менее означает, что эта «заготовка» рано или поздно будет использована. А это означает, что активность мозга всегда содержательна. По-видимому, преимущественно на основе процессов самоорганизации возникают структуры, хранящие такую могущую пригодиться информацию. А это означает, что при всей принципиальной непредсказуемости и кажущейся случайности процесс формирования нового знания в конечном счете «канализован». Об этой «канализации» речь специально пойдет ниже, сейчас же важно подчеркнуть, что содержательная мозговая активность, реализующаяся на основе единства организации и самоорганизации, имеет самое непосредственное отношение к таким важным общебиологическим проблемам, как проблема избыточности любых биологических программ и проблема опережающего отражения действительности. Итак, заготовки впрок на основе ориентировочно-исследовательской деятельности не связаны непосредственно с опытом по удовлетворению потребностей. Прогнозирование будущего на основе опыта по удовлетворению определенных потребностей реализуется в виде вероятностно-статистической модели потребного будущего, по Н.А.Бернштейну, или акцептора результатов действия, по П.К.Анохину. Информация, приобретаемая в ходе ориентировочной деятельности, служит основой прогнозирования «на всякий случай». Такая своеобразная заготовка впрок напоминает хорошо известный в эволюционном учении феномен преадаптации. Эти эволюционные приобретения не связаны с текущими адаптациями. Они «ждут своего часа». Однако во многих случаях «смены сред», столкновения с новыми экологическими факторами животные с преадаптациями оказываются в заведомом выигрыше, обладая за счет преадаптации явными преимуществами по сравнению с популяциями и видами, которые еще не приобрели должных адаптации. Преадаптация оказывается «заготовкой впрок» по отношению к ситуациям, которые не могут быть предсказаны. Есть определенные основания полагать, что прогнозирующая деятельность мозга строится не только на основе текущих активно-приспособительных реакций и их следов-энграмм, но имеет гораздо более широкий спектр, осуществляя заготовки впрок и по отношению к принципиально непредсказуемым ситуациям. Поскольку реальные объекты внешнего мира - открытые системы, их развитие протекает на основе синергетических закономерностей путем непредсказуемых бифуркаций («катастроф»), адаптация к такому миру, далекому от термодинамического равновесия, требует и особых способов подготовки к встрече с таким миром. Мозговая преадаптация и есть такой особый способ. Это как раз та ситуация, когда вероятностно-статистический подход обнаруживает свою ограниченность. «Заготовки впрок», возникшие на основе ориентировочно-исследовательской деятельности, действительно могут рассматриваться как своеобразные преадаптации. В случае возникновения новых, принципиально непредсказуемых, не прогнозируемых ситуаций, организм, тем не менее, может оказаться подготовленным к освоению этих ситуаций. Организм с такими мозговыми «преадаптациями» оказывается более «вооруженным», чем организм, прогнозирующий будущие ситуации лишь на основе памяти о конкретных взаимодействиях со средой. Надо думать, что реальная прогнозирующая деятельность мозга в целом строится на основе этих двух типов прогнозирования. Можно думать, что возникающие преимущественно на основе самоорганизации мозговые преадаптации ориентированы на участие случайности в возникновении нового. Но если вероятностно-статистическое прогнозирование носит более или менее направленный, канализованный характер, то можно ли говорить хотя бы о намеках на канализацию «мозговой преадаптации»? На наш взгляд, какими бы причудливыми ни были «мозговые преадаптации», можно говорить об элементах какой-то их канализации. Дело в том, что «мозговые преадаптации» осуществляются органом отражения и эффективного управления. Те свойства и механизмы, которые лежат в основе этой деятельности, функционируют в определенных рамках, оперируют заготовками, возникшими в ходе взаимодействия особи с окружающим миром (в том числе в ходе ориентировочно-исследовательской деятельности). Поэтому, в конечном счете, любые, самые причудливые заготовки «обречены» на возврат к объективной действительности. В целом же традиционные формы вероятностно-статистического прогнозирования в сочетании с «мозговыми преадаптациями» намного расширяют глубину и горизонты прогнозирования. Это - тот вклад в процессы прогнозирования, который вносят процессы самоорганизации, обеспечивающие более глубокое «отдаление» от среды ради более эффективного и содержательного ее освоения. Иными словами, процессы самоорганизации обеспечивают такую степень «удаления» (но отнюдь не отрыва) от среды, при которой выявляются более общие закономерности ее бытия и тем самым - более успешное ее освоение. Как известно, направление движения системы после бифуркации принципиально непредсказуемо. Однако диапазон возможных траекторий движений системы не беспределен, а ограничен, в первую очередь, свойствами элементов и целостной системы. А это означает, что любая новая траектория есть лишь одна из возможных, и, отличаясь от других траекторий, имеет с ними нечто общее. Возникающие в ходе самоорганизации динамические структуры отражают не только свойства элементов, но внешние условия - характеристики поступающих извне потоков энергии, вещества и информации. По-видимому, под влиянием одних и тех же «аргументов» - потока веществ, энергии и информации, свойств веществ и других эндогенных факторов могут возникать различные динамические структуры. А это в свою очередь означает, что одна и та же совокупность внешних и внутренних факторов может воплотиться в разные динамические структуры. Если это в самом деле так, то есть все основания считать, что в функционировании любых живых систем, в том числе и особенно - мозга, реализуется принцип вырожденности, на роль которого в деятельности мозга впервые обратил внимание Эделмен. Эделмен принцип вырожденности связал с механизмами распознавания стимулов: на один и тот же стимул может реагировать одна из нескольких предсуществующих нейронных систем. R действительности, по-видимому, принцип вырожденности реализуется при всех формах мозговой активности. Одна и та же функция, одна и та же задача может быть решена разными путями. Этот принцип приложим, в частности, и к формированию энграмм. «Неуловимость» энграммы частично может быть объяснена ее разной локализацией у разных особей. Вполне допустимо, на наш взгляд, предположение о том, что любая из траекторий движения системы (мозга), возникшая после бифуркации, несет одну и ту же информацию.

Принцип вырожденности позволяет по-новому объяснить феномен компенсации функций. Хорошо известно, что при разрушении определенных мозговых структур, их функцию могут принимать на себя другие структуры, так что нарушенная целостная функция полностью или частично восстанавливается за счет изменения функциональной архитектуры. В полном соответствии с принципом вырожденности одна и та же целостная функция реализуется на основе иного структурного обеспечения.

Участие процессов самоорганизации в патологии центральной нервной системы с достаточной очевидностью раскрывается при анализе ряда общенейропатологических концепций, одной из которых и притом наиболее разработанных является концепция Г.Н.Крыжановского о генераторных, детерминантных и системных механизмов расстройств центральной нервной системы. Как справедливо отмечает автор, наименее исследованная сторона патогенеза нервных расстройств - возникновение новых структурно-функциональных образований из поврежденных и неповрежденных структур. Как подчеркивает Г.Н.Крыжановский, само повреждение еще не является патологическим процессом. Оно представляет собой причину и условие его развития. Последнее же осуществляется вторичными, уже эндогенными механизмами, присущими самой нервной системе. Реализация указанных механизмов и возникновение вторичных патогенных факторов эндогенной природы означает этап эндогенизации патологического процесса. К числу эндогенных механизмов его развития относится самоорганизация генераторов патологически усиленного возбуждения, патологических детерминант и патологических систем. Г.Н.Крыжановский особо подчеркивает, что эти процессы имеют место при различных формах патологии нервной системы, вследствии чего они могут быть отнесены к разряду типовых патологических процессов в нервной системе. Таким образом, патология мозга во многом связана с самоорганизацией патологических систем. Патологические динамические структуры, закрепляясь, образуют патологическую матрицу - объект целенаправленных лечебных воздействий, ориентированный на замену патологических матриц нормальными.

Особенно велика роль самоорганизации в эмбриональном развитии, когда развивающийся организм реализует генетическую программу и испытывает влияние только со стороны материнского организма.

По представлениям И.А.Аршавского, развивающийся организм за счет поступающий пластических и энергетических ресурсов создает отрицательную энтропию в виде образующихся структур, увеличивая все больше не только свою негэнтропийность, но и неравновесность, достигающие максимума к половозрелому периоду. Иными словами, организм не получает отрицательную энтропию, а в процессе развития (самоорганизации) создает ее сам в виде все более дифференцирующихся и упорядочивающихся структур. Одним из механизмов такого упорядочивания является системогенез, концепция которого выдвинута и обоснована П.К.Анохиным. Системогенез по П.К.Анохину есть совокупность эмбриональных процессов, которые через посредство морфогенетических закономерностей созревания отдельных структурных элементов ведут к избирательным системным связям. Это избирательное созревание структур протекает независимо от топографической близости субстратов. Конечным этапом такого последовательно развивающегося объединения всегда является та или иная функциональная система, обеспечивающая выживание данного новорожденного.

Пройдя ряд этапов развития, формирующаяся система реализует принцип минимального обеспечения функции. Все эти закономерности относятся и к созреванию мозга, так что системогенез применительно к мозгу есть не что иное, как особенности протекающих в развивающемся мозге процессов самоорганизации.

Мы рассмотрели лишь некоторые аспекты проблемы «синергетика и мозг». Но и рассмотренные материалы убедительно свидетельствуют о том, что идеи синергетики действительно позволяют по-новому увидеть интегративную деятельность мозга и наметить новые подходы к ее дальнейшему изучению. Идеи синергетики, вместе с тем, значительно углубляют и обогащают системный подход - одну из главных составляющих современной научной методологии. Следует в связи с этим подчеркнуть одно существенное обстоятельство. Системный подход в его традиционном понимании, при всей своей мощи и эвристичности, по существу, оставляет вне поля зрения историко-процессуальные аспекты исследуемых систем, в том числе - мозга. Одно из главных достоинств синергетики - ее обращенность к процессуальной, исторической стороне организации и функционирования систем. Поэтому синергетику можно рассматривать как особое направление системного подхода, которое исследует системы с точки зрения их самоорганизации, а тем самым их возникновения и эволюции. Именно поэтому идеи и принципы синергетики представляют собой общенаучно-методологическую основу исследования, развития и функционирования систем всех уровней - от неживых объектов до высшей формы материи - головного мозга.

**Список литературы**

Р.И.Кругликов, Г.И.Рузавин. Синергетика и мозг.