

**РЕКУРСИВНАЯ ПРОГРЕССИЯ КАК МЕХАНИЗМ
ИЕРАРХИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В МОРФОГЕНЕЗЕ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

Лемещенко В. В.

ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского», Симферополь, Россия

lemeshenko@mail.ru

Аннотация

В статье предложена теоретическая модель рекурсивной прогрессии, описывающая морфогенез млекопитающих как последовательность циклов, каждый из которых содержит стационарную фазу (иерархическая организация) и переходную фазу (иерархический синтез), порождающую новую организацию с эмерджентными свойствами. Введено понятие синтезирующего интерфейса как универсального структурно-функционального элемента, обеспечивающего кооперативное взаимодействие между иерархическими организациями одного уровня. Модель инвариантна к масштабу и может быть применена к любым системам, демонстрирующим последовательное усложнение организации.

Ключевые слова: *рекурсивная прогрессия, иерархический синтез, транзиторный мета-уровень, синтезирующий интерфейс, морфогенез.*

Введение. Существующие теории сложности дают мощный аналитический аппарат для описания различных аспектов самоорганизации, однако ни одна из них не предлагает универсальной модели возникновения новых уровней иерархической организации. Синергетика, фиксируя переход от хаоса к порядку, не описывает качественное надстраивание уровней [3, 8]. Теория аутопоэзиса, акцентируя самовоспроизводство систем, оставляет за

рамками механизмы их кооперации [5]. Теория иерархических систем, формализуя структуру, не объясняет происхождение самих иерархий [7]. Энактивизм и нишевая конструкция, сосредоточенные на взаимодействии со средой, не моделируют внутренние переходы организации [6, 9]. Сетевые подходы, описывая топологию сложных систем, не раскрывают онтологию их возникновения [2, 4]. Данный пробел в теоретическом аппарате требует введения концепции, которая трактует переход между уровнями как самостоятельный процесс, а не как побочный эффект иных динамик.

Материал и методы. Использованы архивные и текущие данные морфологических исследований кафедры анатомии и физиологии животных, полученные на материале от крупного рогатого скота, овец, свиней, собак, кур и перепелов на постнатальных этапах онтогенеза, с использованием комплекса морфологических методик, а также опубликованные данные. Методологическая основа — системный подход с применением теории иерархических систем и рекурсивных процессов, структурно-функциональное моделирование и компаративный анализ. Моделирование по алгоритму: выделение исходных иерархических организаций; описание транзитного мета-уровня; селекция устойчивых конфигураций и диссипация; консолидация новой организации. Верификация проведена путем сопоставления с эмпирическими данными по постнатальному морфогенезу. Критерий: объяснение дискретности, необратимости и эмерджентности.

Результаты исследований. Морфогенез млекопитающих традиционно интерпретируется как поэтапная реализация генетической программы, однако данная концепция оставляет необъяснёнными три фундаментальных свойства развития: дискретность этапов, необратимость клеточной дифференцировки и появление качественно новых признаков на каждом последовательном уровне организации. Предлагаемая модель рекурсивной прогрессии предлагает иную онтологию: развитие трактуется не как

линейное развёртывание, а как циклический процесс, в котором каждый цикл структурно разделён на две последовательные фазы (рис. 1).



Рис. 1. Формулировка сложности в биологических системах

Стационарная фаза (иерархическая организация):

- уровень N+1 – нисходящая детерминация;
- уровень N – взаимодействие;
- уровень N-1 – восходящее обеспечение.

Переходная фаза (иерархический синтез):

- система А (иерархия N);
- система В (иерархия N);
- транзитный мета-уровень (вариативные взаимодействия);
- селекция устойчивых конфигураций;
- диссипация неотобранных структур.

Результат:

- новая иерархическая организация;

- эмерджентные свойства.

Первая — стационарная, соответствующая устойчивой иерархической организации, в которой все уровни сбалансированы через нисходящую детерминацию и восходящее обеспечение. Вторая — переходная, в которой происходит иерархический синтез, завершающийся возникновением новой организации с эмерджентными свойствами.

Центральным событием переходной фазы является акт иерархического синтеза. Две или более систем, каждая из которых представляет собой самостоятельную иерархию одного уровня N , вступают в кооперативное взаимодействие. Это взаимодействие не является прямым слиянием; оно опосредовано формированием транзиторного мета-уровня — временной надсистемной структуры, в которой возникают множественные вариативные связи между элементами исходных систем. На этом мета-уровне реализуется избыточное множество пробных конфигураций связей, среди которых впоследствии происходит отбор. Отбираются только те конфигурации, которые обеспечивают устойчивую интеграцию и функциональную совместимость систем. Все неотобранные варианты подвергаются диссипации — элиминации или дезинтеграции. Результатом данного отбора становится консолидация исходных систем в новую иерархическую организацию, которая создает базис уровню $N+1$ и обладает свойствами, отсутствовавшими у каждой из исходных систем по отдельности. Завершённый цикл, заканчивающийся стационарной фазой, одновременно служит стартовой конфигурацией для следующего цикла, что обеспечивает рекурсивный характер надстраивания уровней. Инвариантность описанного паттерна «стационарная фаза → транзиторный мета-уровень с селекцией → новая стационарная фаза» сохраняется при переходе от молекулярно-клеточных процессов к тканевым, органным, системным и организменным уровням.

Ключевым структурно-функциональным элементом, обеспечивающим реализацию обоих режимов, является синтезирующий интерфейс. Этот элемент локализован на границе между уровнями иерархии или между системами одного уровня. Его определяющее свойство — способность к функциональному переключению. В стационарной фазе интерфейс работает как селективный проводник: он обеспечивает передачу управляющих сигналов сверху вниз (нисходящая детерминация) и поток ресурсов снизу вверх (восходящее обеспечение), поддерживая тем самым гомеостаз иерархии. В переходной фазе тот же интерфейс меняет режим работы: он перестаёт фильтровать и начинает генерировать вариативность, становясь полем для избыточных пробных коопераций между элементами систем. В этом режиме через интерфейс проходят множественные альтернативные сигналы и контакты, не имеющие устойчивого исхода до момента селекции. После завершения синтеза интерфейс либо диссипирует как временная структура, либо возвращается в стационарный режим, интегрируясь в новую иерархию.

Универсальность синтезирующего интерфейса подтверждается его наличием на всех уровнях биологической организации. На молекулярном уровне он представлен фермент-субстратными комплексами, в которых пробные взаимодействия между молекулами приводят к образованию нового соединения. На клеточном уровне его функциями обладают синапсы, преобразующие химический сигнал в электрический, и ядерные поры, регулирующие транспорт между ядром и цитоплазмой. На тканевом уровне интерфейсами служат базальные мембраны, разделяющие эпителий и соединительную ткань, а также зоны эпителиально-мезенхимальных индукционных взаимодействий в эмбриогенезе. На системном уровне — нейроиммунные интерфейсы, координирующие взаимодействие нервной и иммунной систем, и эндотелий как барьер между кровью и тканями. На организменном уровне — плацента, обеспечивающая двусторонний обмен между материнским и плодовым организмами. На популяционном уровне —

микоризные контакты между грибами и корнями растений, а также симбиотические ассоциации между организмами разных видов. На экосистемном уровне — границы раздела сред (вода-суша, атмосфера-почва), через которые осуществляется обмен веществом и энергией. Во всех перечисленных случаях сохраняется инвариантный принцип: стационарный режим интерфейса — гомеостаз и поддержание структуры, транзиторный режим — генерация вариативности и участие в селекции.

Наиболее показательным биологическим примером иерархического синтеза на организменном уровне является беременность у млекопитающих. В данном процессе организменный уровень матери и множественные организменные уровни плодов образуют транзиторный мета-уровень — параорганизменную систему «мать — плоды». В рамках этой системы реализуются вариативные взаимодействия трёх типов: гемодинамические (обмен через кровоток), гуморальные (передача сигнальных молекул) и иммунологические (толерантность и распознавание) [1]. Плацента выполняет функцию синтезирующего интерфейса: она не только обеспечивает обмен, но и создаёт условия для конкурентной селекции устойчивых конфигураций по критерию выживаемости плодов и плацентарной эффективности. В ходе селекции часть эмбрионов элиминируется — это является диссипацией неотобранных временных структур. Рождение выступает терминальной стадией синтеза: параорганизменная система разрушается, плацентарные структуры элиминируются, и результатом становится множество самостоятельных организменных уровней, которые в дальнейшем служат элементарными единицами для формирования популяционного уровня. Эмерджентное свойство данной системы — способность к внутрисистемному конкурентному отбору, которое не выводится из свойств материнского или плодового организмов по отдельности и возникает только на уровне параорганизменной системы.

Заключение. Предложенная модель объясняет дискретность морфогенетических этапов, необратимость дифференцировки, возникновение

нового качества на каждом уровне, несводимость целого к сумме частей. Модель инвариантна к масштабу и может быть применена к любым системам, демонстрирующим последовательное усложнение организации. Она даёт объяснение ключевым свойствам развития: поэтапности, необратимости, возникновению новообразований, интеграции уровней. Моделирование морфогенеза млекопитающих на основе рекурсивной прогрессии позволяет рассматривать развитие как процесс последовательного надстраивания иерархических уровней, где каждый уровень одновременно является результатом предыдущего синтеза и субстратной основой для следующего.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы кафедры анатомии и физиологии животных ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского» на 2026-2030 г.г. по теме «Разработка предиктивной оценки морфофункционального статуса животных на основе их иерархической организации» (руководитель — д-р вет. наук, проф. В. В. Лемещенко).

Список литературы

1. Лемещенко В. В. Мета-уровень структурной организации как проявление иерархического синтеза в морфологии млекопитающих и птиц / В. В. Лемещенко // Актуальные вопросы прикладной морфологии : сборник трудов Международного научно-практического симпозиума, Москва, 20 марта 2026 года / под редакцией С. В. Позябина [и др.]. — Москва : ФГБОУ ВО МГАВМиБ — МВА имени К. И. Скрябина, 2026. — С. 58–59.
2. Barabási A.-L. Linked: how everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life. — N.Y. : Plume, 2003. — 304 p.
3. Haken H. Synergetics: an introduction. Nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics, chemistry, and biology. — 3rd ed. — Berlin : Springer-Verlag, 1983. — 371 p.
4. Holland J.H. Hidden order: how adaptation builds complexity. — Reading : Addison-Wesley, 1995. — 208 p.

5. Maturana H.R., Varela F.J. Autopoiesis and cognition: the realization of the living. — Dordrecht : D. Reidel Publishing, 1980. — 141 p.
6. Odling-Smee F.J., Laland K.N., Feldman M.W. Niche construction: the neglected process in evolution. — Princeton : Princeton University Press, 2013. — 488 p.
7. Pattee H.H. Hierarchy theory: the challenge of complex systems. — N.Y. : George Braziller, 1973. — 156 p.
8. Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos: man's new dialogue with nature. — N.Y. : Bantam Books, 1984. — 384 p.
9. Varela F.J., Thompson E., Rosch E. The embodied mind: cognitive science and human experience. — Cambridge : The MIT Press, 1991. — 328 p.

Title: RECURSIVE PROGRESSION AS A MECHANISM OF
HIERARCHICAL SYNTHESIS IN MAMMALIAN MORPHOGENESIS

Authors: Lemeschenko V.V.

Affiliation: V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Email: lemeshenko@mail.ru

Abstract: The article proposes a theoretical model of recursive progression describing mammalian morphogenesis as a sequence of cycles, each containing a stationary phase (hierarchical organization) and a transitional phase (hierarchical synthesis) that generates a new organization with emergent properties. The concept of a synthesizing interface is introduced as a universal structural-functional element ensuring cooperative interaction between hierarchical organizations of the same level. The model is scale-invariant and can be applied to any systems demonstrating successive complication of organization.

Keywords: recursive progression, hierarchical synthesis, transitional meta-level, synthesizing interface, morphogenesis.