

МЕХАНИЗМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Полежаев А.А.

Физический Институт им. П.Н. Лебедева, Ленинский просп. 53, 119991 Москва
E-mail: apol@lpi.ru

Биологический морфогенез, т.е. возникновение новых форм и структур, как в индивидуальном развитии организма, так и в результате взаимодействия сообществ организмов, является фундаментальной и пока далёкой от решения проблемой современной биологии. Однако интерес к морфогенезу не ограничивается пределами одной только биологии. Определенный прогресс, который достигнут в последнее время в понимании биологического морфогенеза, связан с применением физико-математических (синергетических) методов теории самоорганизации неравновесных открытых систем как биологических, так и небιологических.

На ряде примеров будет продемонстрировано, как формировались современные представления о механизмах биологического формообразования, и каково состояние этой проблемы на данный момент. При построении теории биологического морфогенеза необходимо учитывать, что а) каждая клетка содержит в себе всю генетическую информацию, которая, однако, ничего не говорит ни о форме и структуре организма, ни о функции данной клетки; б) функции клетки реализуются в конкретном микроокружении в результате взаимодействия с соседними клетками. Таким образом, морфогенез есть результат самоорганизации открытой неравновесной динамической системы, каковой является любая живая система.

Первые модели биологического морфогенеза основывались на идее Тьюринга, высказанной им в 1952 году в классической работе «О химической основе морфогенеза», о том, что возникновение структур есть результат потери устойчивости пространственно-однородного состояния (Тьюринговская бифуркация). Примерами таких моделей являются модель Гирера-Майнхрда морфогенеза гидры и модель, предложенная для объяснения раскраски шкур животных. К моделям этого же типа можно отнести механические и механохимические модели структурообразования в клеточных пластах, в которых переменными являются не только концентрации химических веществ, но и механические свойства тканей – деформации и напряжения.

В последующем стало ясно, что биологическое формообразование может происходить не только как результат возникновения диссипативных структур вследствие тьюринговской бифуркации, но и по другим механизмам. В частности, было показано, что к формированию пространственных структур может приводить недиагональность матрицы диффузии, например, хемотаксис (направленное движение по градиенту вещества) у бактерий и у амёб *D. discoideum*, конвекционные потоки веществ (“differential flow” instability), которые, в частности, ответственны за электрохимические структуры на поверхности некоторых клеток. Наконец, структуры, могут возникать как результат взаимодействия двух подсистем: автоволновой и автоколебательной. По такому механизму формируются сомиты, предшественники структур позвоночного столба, у высших животных.