

**Моделирование дорзо-вентральных паттернов *Xenopus* на стадии гастрюлы.
Реакционно-диффузионная симуляция саморегулирующегося градиента BMP**

Научный руководитель – Нестеренко Алексей Михайлович

Бабенко Ярослав Евгеньевич

Студент (бакалавр)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра биофизики, Москва, Россия

E-mail: epsilon.ipsilon@mail.ru

Африканская шпорцевая лягушка (*X. Laevis*) в эмбриональном развитии приобретает асимметрию, связанную с дорсо-вентральным направлением на стадии гастрюлы. Такие паттерны асимметрии являются результатом действия морфогенов - веществ, которые способны влиять на судьбу дифференциации эмбриональных клеток. Как показывают эксперименты, решающую роль играют взаимодействия системы морфогенов, а также их результирующий градиент, диффундирующий по всему зародышу[1].

Проблемой математического моделирования является построение системы уравнений, удовлетворяющих экспериментальным данным. Существующие на сегодняшний день модели[3] либо очень громоздки и трудно поддаются анализу, либо математический вид взаимодействий системы не вполне удовлетворяет реальным связям морфогенов. В связи с этим была поставлена задача предложить собственную модель и реализовать численную симуляцию.

Главными морфогенами, принимающие участие в формировании паттернов являются $Bmp(2/4/7)$, Chordin и Admp, также важную роль играют специфические протеазы. Bmp и Chordin взаимодействуют как активатор и ингибитор, а Admp регулирует эти отношения[2]. Таким образом имеется классическая реакционно-диффузионная система.

Была составлена трехкомпонентная система уравнений, включающая Bmp-каскад. Критерием образования диссипативных структур являлись условия неустойчивости Тьюринга. Использовался анализ линейной устойчивости по Ляпунову и метод Кардано. Были найдены соотношения параметров системы для образования диффузионной неустойчивости.

Компьютерная симуляция была реализована по численной схеме Кранка-Николсона с использованием метода Рунге-Кутты для кинетической части системы. Были построены профили диссипативных структур для одномерного сечения по кольцу. Алгоритмы были осуществлены на языке C++ (библиотеки uBLAS); визуализация выполнялась на Python 2.7 matplotlib. Результаты показали необходимые условия Тьюринговской неустойчивости, а также совпали с теоретически предсказанными параметрами системы.

Источники и литература

- 1) Müller, P., Rogers et al. Differential Diffusivity of Nodal and Lefty Underlies a Reaction-Diffusion Patterning System. Science, 2012.
- 2) Sasai, Y., Inomata, H., et al. XScaling of dorsal-ventral patterning by embryo size-dependent degradation of spemann's organizer signals. Cell, 153(6), 1296–1311, 2013.
- 3) Plouhinec, J.-L., et al. Chordin forms a self-organizing morphogen gradient in the extracellular space between ectoderm and mesoderm in the *Xenopus* embryo. PNAS, 2013.