Репликаторные системы и модели динамики сообществ макромолекул, клеток, бактерий и вирусов.

А.С. Братусь

Центр фундаментальной и прикладной математики МГУ

Модели репликаторных систем были предложены в работе М. Эйгена и П. Шустера [1] для описания процессов динамики и эволюции сообщества сложных макромолекул. В этой работе были предложены две модели, которые вплоть до настоящего времени представляют основу современной математической биологии. Модель квазивидов и общая репликаторная модель. С математической точки зрения эти модели представляют специальный класс систем нелинейных дифференциальных уравнений, заданных на симплексе достаточно большой размерности. Особый интерес представляет система гиперцикла, в которой воспроизводство каждой макромолекулы происходит с помощью предыдущей в замкнутом цикле. Эта система обладает замечательными математическими свойствами, которые соответствуют основным постулатам триады Ч. Дарвина: наследственность, изменчивость, естественный отбор. Все это дало основание рассматривать эту систему в качестве основной математической модели, так называемой, предбиологической эволюции, которая могла привести к появлению сложных самовоспроизводящихся макромолекул, подобных макромолекулам РНК. Однако, успеху этой теории помешало одно существенное обстоятельство: система гиперцикла неустойчива по отношению к воздействию паразитических макромолекул, которые пользуются ресурсами системы ничего не отдавая взамен. Модель квазивидов более проста с математической точки зрения, но обладает одним интересным свойством. Стационарное положение равновесие этой системы стабилизируется при некотором критическом значении параметра, отвечающего за скорость мутации. Это явление получило название «порога эволюции» и является причиной широкого обсуждения и дискуссий, как со стороны биологов, так и математиков. В докладе рассматривается математическая модель эволюции системы гиперцикла, в результате которой эволюционный гиперцикл становится устойчивым к воздействию паразитов. Модель основана на утверждении фундаментальной теоремы о естественном отборе Р. Фишера [2] о том, что любая биологическая система в процессе эволюции стремится к увеличению величины средней приспособленности (фитнеса). Основная гипотеза предлагаемого подхода заключается в том, что время эволюционного изменения системы во много раз более медленное, чем время активного изменения динамики системы до выхода системы в стационарное положение равновесия. Приводятся примеры эволюции гиперциклов, а также других репликаторных систем, полученные в результате многочисленных численных экспериментов [3-6]. Аналогичный подход используется и в случае модифицированной системы квазивидов М.Эйгена и системы Кроу-Кимуры, в которых исследуется эволюционная адаптация системы в ответ на увеличение смертности видов с близкими фенотипами.

[1] Eigen, M., Schuster, P. (1977). A principle of natural self-organization. *Naturwissenschaften*, 64(11), 541-565.

[2] Birch, J. (2016). Natural selection and the maximization of fitness. *Biological Reviews*, 91(3): 712-727.

[3] Bratus A., Drozhzhin S., Yakushkina T. (2018) Mathematical Biosciences, <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2018.09.001>

[4] Bratus A., Semenov Yu., Novozhilov A. (2018) Adaptive fitness landscape for replicator systems: to maximize or not maximize. Mathematical modelling of natural phenomena**,** [https://doi.org/10.1051/mmnp/2018040](https://doi.org./10.1051/mmnp/2018040)

[5] Bratus A.S., A.S. Novozhilov and Yuri S. Semenov).(2014) Linear algebra of the permutation invariant Crow-Kimura model of prebiotic evolution. Mathematical Biosciences, 2014, 256, 42-57.

[6] Bratus A.S., Artem S. Novozhilov and Yu. S. Semenov Rigorous Mathematical Analysis in Quasispecies Model: From Manfred Eigen to the Recent Development. In book Advance Mathematical Methods in Bioscience and Application, 2019, Springer, pp. 27-51. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15715-9>