23. Развитие методов стохастического моделирования в иммунологии

с.н.с., к.ф.-м.н. К.К. Логинов, в.н.с., д.ф.-м.н. Н.В. Перцев,
в.н.с., д.ф.-м.н. В.А. Топчий,
лаборатория комбинаторных и вычислительных методов алгебры и логики,
Омский филиал ИМ СО РАН

Разработан подход к построению, исследованию и численной реализации стохастических моделей в иммунологии на основе совмещения популяционного и агентного описания динамики вирусных частиц и клеток иммунной системы.

Представлен цикл работ, развивающих методы стохастического моделирования в иммунологии. Модели используют три группы переменных: текущее время; вектор численностей популяций, состоящий из неотрицательных целочисленных случайных величин; семейства уникальных типов различимых клеток и вирусных частиц. Элементы семейств содержат случайные величины, распределённые на конечных промежутках времени, булевы переменные, зависящие от времени функции или константы.

Динамика задаётся рекуррентными соотношениями, в которых распределение следующего состояния зависит от текущего. Скачкообразные изменения обусловлены притоками, гибелью и взаимодействием клеток и вирусных частиц, формированием клеток с промежуточными стадиями развития и временно существующих комплексов из пар клеток. Для аналитического исследования применяются методы теории ветвящихся процессов, систем массового обслуживания и дифференциальных уравнений с запаздыванием; численное исследование проводится методом Монте-Карло.

Рассмотрены модели циркуляции клеток и вирусных частиц между двумя лимфоузлами [1], размножения Т-лимфоцитов в лимфоузле [2] и развития врождённого (первичного) иммунного ответа на инфицирование организма [3].

Работы выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FWNF-2026-0033.

Результат опубликован в работах:

1. *В.А. Топчий, Н.В. Перцев, К.К. Логинов.* Численное моделирование циркуляции частиц на графе на основе стохастической и детерминированной моделей // Сибирские электронные математические известия, **23**:1 (2026), 126–136. DOI:10.33048/semi.2026.23.009

2. *К.К. Логинов, Н.В. Перцев, В.А. Топчий.* Стохастическое моделирование динамики популяций с учетом пространственной неоднородности и локальных ограничений на размножение индивидуумов // Сибирский журнал вычислительной математики, **29**:1 (2026), 25–39. DOI:10.15372/SJNM20260103

3. *K.K. Loginov, N.V. Pertsev, V.A. Topchii.* Numerical stochastic modelling of contact cytolysis in the innate immune response // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, **41**:5 (2026), 387–400. DOI:10.1515/rnam-2026-0025