

**Отзыв научного консультанта**  
**на диссертационную работу Плюснной Татьяны Юрьевны**  
**«Динамическая организация переходных процессов в клетках фотосинтезирующих**  
**организмов в норме и под действием стресса»,**  
**представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук**  
**по специальности 1.5.8. Математическая биология, биоинформатика**

Диссертационная работа представляет собой **актуальное** системное исследование, направленное на выявление закономерностей динамической организации переходных процессов в клетках фотосинтезирующих организмов при изменении внешних условий. Автор последовательно развивает идею о том, что адаптация клетки к стрессу – это последовательность нелинейных переходов между устойчивыми функциональными состояниями, обусловленных бифуркациями в динамических системах. Такой подход реализует интегративную методологию, основанную на синтезе теории динамических систем, иерархического моделирования и количественного анализа экспериментальных данных.

Работа характеризуется существенной **научной новизной**. Автор разрабатывает и реализует системный иерархический подход к анализу переходных процессов, позволяющий связать процессы на временных масштабах от пикосекунд (фотохимические реакции) до часов (метаболическая перестройка). Особенно ценным является предложенная концепция «редукции с разворачиванием», основанная на теореме Тихонова, которая позволяет использовать упрощенные модели для анализа экспериментальных данных и затем интерпретировать полученные эффективные параметры через элементарные процессы, тем самым снижая неоднозначность обратной задачи в кинетическом моделировании. Этот методологический результат имеет общенаучное значение и может быть транслирован в другие области системной биологии. В рамках построения математических моделей фотосистемы II автор предлагает модифицированную четырехкомпонентную кинетическую модель, учитывающую гетерогенность реакционных центров и отражающую функционально различающиеся состояния РЦ. Показано, что изменение соотношения компонентов модели может отражать процессы адаптации, проявляющийся при действии стресса различной природы. **Теоретически значимым** является демонстрация роли нелинейной динамики (автоколебания, гистерезис, триггерные переключения) как универсального механизма клеточной адаптации. Выявлены конкретные регуляторные контуры положительной обратной связи, ответственные за пороговые переключения метаболических потоков у *Chlamydomonas reinhardtii* при серном голодании, а также за гистерезис накопления полифосфатов у *Chlorella vulgaris* при дефиците фосфора. Эти результаты существенно углубляют понимание того, как клетка «принимает решения» в условиях стресса, и подтверждают гипотезу о том, что переходные процессы сами по себе являются функционально значимыми этапами адаптации.

Особую ценность представляет разработанный автором метод спектрально-мультиэкспоненциальной аппроксимации (СМЭА), который позволяет раскладывать кривые индукции флуоресценции хлорофилла *a* на компоненты, соответствующие различным временным шкалам и функциональным состояниям фотосистемы II. Метод успешно применен для выявления ранних маркеров стресса (например, появление новой фазы на индукционной кривой уже через несколько часов после начала серного голодания, задолго до видимых физиологических изменений). Внедрение СМЭА в программный комплекс *pyPhotoSyn* вместе с традиционными методами анализа индукционных кривых обеспечивает высокую воспроизводимость и автоматизацию обработки данных, что делает подход пригодным для применения в биотехнологическом контроле и экомониторинге.

Работа обладает существенной **практической значимостью**. Предложены стратегии управления метаболизмом водорослей для целенаправленного накопления биотоплива (водорода, липидов) и полифосфатов; разработаны инструменты ранней диагностики стресса, применимые в сельском хозяйстве и биореакторах; сформулированы принципы управления адаптацией через кратковременное стрессовое воздействие. Все эти выводы опираются на строгий экспериментальный и теоретический фундамент.

Автор демонстрирует высокий уровень владения методами математического моделирования, анализа динамических систем, обработки экспериментальных данных (включая РСА, ЛР-тест, спектральный анализ), а также системное понимание физиологии фотосинтеза и клеточной биохимии.

Результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, представлены на международных конференциях, что свидетельствует о признании их научного уровня мировым сообществом.

В заключение отмечаю, что данная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам (специальность 1.5.8. Математическая биология, биоинформатика). Она вносит существенный вклад в развитие теоретических основ системной биологии, расширяет методологический арсенал исследования динамики живых систем и открывает новые возможности для прикладного использования фотосинтезирующих организмов. Считаю, что работа может быть рекомендована к защите в диссертационном совете МГУ.

Научный консультант:

заведующий кафедрой биофизики

биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

д.б.н., проф., акад. РАН

19.03.2026