



Newfoundland & Labrador, Canada

Dr. Abir U. Igamberdiev  
Professor  
Department of Biology  
Memorial University of Newfoundland  
St. John's NL Canada A1B 3X9  
Tel. 709-864-4567  
Fax 709-864-3018  
Email: [igamberdiev@mun.ca](mailto:igamberdiev@mun.ca)

### ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Липчинского Андрея Анатольевича на тему: «Механобиологические аспекты роста клеток растений», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.01.05 – физиология и биохимия растений

Диссертационная работа Липчинского Андрея Анатольевича «Механобиологические аспекты роста клеток растений» представляет собой оригинальное научное исследование в очень важной и интересной области биологии – биомеханике. В настоящее время, характеризующееся акцентом на молекулярную биологию, данное направление привлекает недостаточно внимания в науке, тем не менее оно является основополагающим для понимания центральных процессов роста и развития. Диссертация успешно продолжает традицию, заложенную классическими работами И.В. Гете и В. д'Арси Томпсона, добавляя в механобиологию молекулярный аспект.

В работе получены основополагающие фундаментальные данные по биомеханическим свойствам растений. Некоторые результаты находятся в пределах классических биомеханических представлений. В частности, была показана зависимость модуля упругости клеточных стенок колеоптилей кукурузы от механического напряжения и разработана модель, объясняющая обнаруженную зависимость неоднородным распределением напряжения в клеточных стенках, описано обратимое удлинение клеточных стенок при уменьшении температуры (последнее, на мой взгляд, вполне ожидаемо). Однако, другие выводы диссертации успешно объединяют биомеханические

PK N 09/2-470 от 11.11.2019

принципы с молекулярными механизмами. Так, автором предложена и обоснована модель действия белков экспансинов в регуляции растяжимости клеточных стенок. Эта модель основана на участии этих белков в образовании на поверхности микрофибрилл целлюлозы подвижных конформационных дефектов. Данный вывод является указанием на фундаментальный механизм формирования и функционирования клеточной стенки, и я уверен, что появятся новые молекулярно-биологические исследования, подтверждающие работу данного механизма, постулированного автором и получившего в его работе первоначальное обоснование. Другим важным вкладом автора является биомеханическое обоснование механизмов везикулярного транспорта и возникновения градиентов давления в поляризованно растущих клетках.

Автор разработал оригинальную установку для определения эластических свойств первичных клеточных стенок и получил с использованием ее интересные результаты. Автор также использовал оптическую и электронную микроскопию для подтверждения образования складок во внутреннем слое наружных эпидермальных клеточных стенок колеоптилей кукурузы после их механической релаксации. Важным аспектом работы являются результаты опытов по исследованию зависимости модуля упругости клеточных стенок от рН. Показано отсутствие влияния подкисления на эластичность клеточных стенок. Поскольку известно, что пластическая растяжимость клеточных стенок существенным образом зависит от рН, автор объясняет дифференциальный эффект рН на эластическую и пластическую растяжимость участием конформационных дефектов в пластической растяжимости клеточных стенок. Данный вывод представляется обоснованным, хотя необходимы дальнейшие исследования этого вопроса, включающие изучение вклада и роли протонных помп в кислотной регуляции эластичности и пластичности клеточных стенок.

В данном исследовании автором проделана большая работа по исследованию механизмов кислого роста, что продолжает традиции, заложенные на кафедре физиологии и биохимии растений Санкт-Петербургского университета профессором Всеволодом Владимировичем Полевым. Предложенное объяснение функционирования экспансинов в контексте биомеханической релаксации и гиперрелаксации представляет не только практический, но и фундаментальный интерес, так как обосновывает возможность генерации экспансинами на поверхности микрофибрилл целлюлозы подвижных конформационных дефектов. В качестве непосредственных триггеров разрыва водородных и ван-дер-ваальсовых связей между микрофибриллами и аморфными полисахаридами предложенная модель дефектопосредованной вязкопластичности рассматривает подвижные топологически стабилизированные (за счет кристаллографических сдвигов) конформационные дефекты на поверхности микрофибрилл целлюлозы. Модель получает вполне удовлетворительное

обоснование в работе и, как можно ожидать, получит дополнительное подтверждение в новых структурно-кинетических исследованиях экспансинов при их функционировании *in situ*.

Особого внимания заслуживает исследование диссертантом поляризованного клеточного роста. По результатам этого исследования автор опубликовал две важные статьи – в *Physical Biology* и *BioSystems*. Предложен механизм осмофореза и диффузиофореза. Автором поставлен и рассмотрен важнейший вопрос биологии – как молекулярные сигналы транслируются в механические силы, определяющие клеточный рост и подвижность. Показана существенная анизотропия цитоплазматических стрессовых полей, которая генерируется из изотропной внутриклеточной среды ионными потоками, проходящими через обогащенную электролитами апикальную цитоплазму. Эти исследования проводились на примере пыльцевых трубок, но отмечается, что результаты применимы для разнообразных клеток и клеточных структур водорослей, растений, грибов и животных. Автор получил результаты, показывающие, что направленное движение апикальных везикул является результатом совместного действия электрофоретических, хемофоретических и осмофоретических сил, и что электроосмос индуцированного заряда способствует анизотропии механического напряжения в апикальном участке пыльцевой трубки.

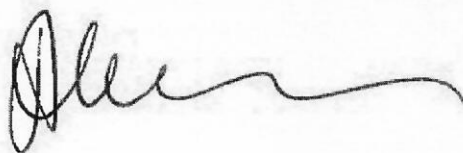
Важным аспектом диссертационной работы является исследование того факта, что гипервосстановление механического напряжения представляет собой универсальный принцип не только в морфогенезе животных, о чем имеется обширная литература, но и в морфогенезе растений. Данный принцип, положенный Л.В. Белоусовым в основу морфомеханики развития, объясняет, в частности, образование боковых корней и корневых волосков на, соответственно, выпуклой и вогнутой сторонах согнутого главного корня, а также переход из закрытого типа роста в открытый тип роста апикальной меристемы корня и побега при действии на нее латеральной сдавливающей силы. Разумеется, данные исследования автора пока находятся на начальной стадии, и, будем надеяться, что в своих будущих работах он расширит применимость данного принципа для морфогенеза растений и получит новые интересные данные, подтверждающие данный механизм.

Материалы диссертации опубликованы в 5 публикациях высокого научного уровня. Публикации включают две статьи в *Acta Physiologiae Plantarum*, статью в *Physics in Biology*, главу в монографии издательства Springer (монография написана совместно с ведущим специалистом по морфогенезу Львом Владимировичем Белоусовым), и статью в *BioSystems*, в которой автор весьма подробно представил концепцию электромеханики поляризованного клеточного роста.

Диссертация практически не содержит опечаток, и текст ее английской версии характеризуется высокопрофессиональным стилем и точностью соответствия русскому тексту.

Диссертация Липчинского Андрея Анатольевича на тему: «Механобиологические аспекты роста клеток растений» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Липчинский Андрей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.01.05 – физиология и биохимия растений. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

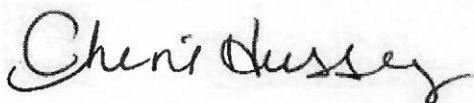
Член диссертационного совета,  
доктор биологических наук,  
профессор биологического факультета  
Мемориального университета Ньюфаундленда, Канада



Игамбердиев Абир Убаевич / Abir U. Igamberdiev

6 ноября 2019 г.

Подпись заверяю – Witness –  
Ms. Cherie Hussey



**Memorial University  
Department of Biology  
Science Building SN3125  
St. John's NL  
Canada  
A1B 3X9**

Секретарь факультета биологии  
Мемориального университета Ньюфаундленда  
Secretary to the Head of the Department of Biology  
Memorial University of Newfoundland

Date: November 6, 2019