

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ГРИНБЕРГ Марины Антоновны «ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ РАСТЕНИЙ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ К СТРЕСС-ФАКТОРАМ», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – «Биофизика»

Актуальность темы. Хроническим облучением называют постоянное или прерывистое облучение живых организмов любыми видами излучений в течение длительного времени. В работе М. А. Гринберг рассматриваются биологические эффекты β -излучения на растения пшеницы и табака. Известно, что хроническое ионизирующее излучение (ИИ) в малых дозах способно влиять на рост и развитие растений, а также активность различных физиологических процессов. Однако механизмы влияния ИИ на живые организмы изучены пока недостаточно. Формирование у растений устойчивости к стрессорам может быть связано с возникновением и распространением дистанционных стимулов, одним из которых могут быть электрические сигналы. Диссертационная работа Гринберг Марины Антоновны посвящена изучению влияния хронического ионизирующего облучения на электрические сигналы и их роли в адаптации растений к неблагоприятным факторам, что представляется весьма актуальным.

Содержание и оформление диссертации. Диссертация Гринберг М. А. изложена на 106 страницах, содержит 27 рисунков. Диссертация оформлена в традиционной форме и состоит из следующих разделов: Введение, Обзор литературы, Описание материалов и методов исследований, Результаты и их обсуждение, Заключение, Выводы и Список литературы. Список литературы содержит 216 источников, из них 213 зарубежных.

Во введении представлено обоснование актуальности темы исследования и обозначены цель и задачи работы. Цель и задачи сформулированы четко.

Глава 1 содержит обзор литературы, в котором анализируется влияние хронического ионизирующего облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам. В этой главе рассматривается влияние ионизирующего излучения на растения, приводится информация о сигнальных системах растений, включая дистанционные электрические сигналы. Обзор литературы построен логично, его содержание соответствует изучаемой проблеме, а также свидетельствует о способности диссертанта логично систематизировать и интерпретировать информацию, представленную в различных источниках.

Глава 2 посвящена описанию материалов и методов, использованных в диссертационной работе. В тексте главы приводится описание объектов исследования, подробно изложены принципы и методики измерений, схемы проведения экспериментов, а

также используемое оборудование. Эксперименты выполнялись на растениях пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) и растениях табака (*Nicotiana tabacum* L.), трансформированных флуоресцентным pH-чувствительным белковым сенсором Pt-GFP. Облучение производилось закрытым точечным источником ^{90}Sr - ^{90}Y , который позволял задавать сценарий хронического низкоинтенсивного ионизирующего воздействия. Регистрация параметров электрических сигналов выполнялась с помощью многоканальной макроэлектродной установки, что позволило автору регистрировать распространяющиеся электрические сигналы одновременно в нескольких точках, удалённых от места локального раздражения. Величина электрического потенциала на цитоплазматической мембране регистрировалась внутриклеточно с использованием микроэлектродной техники, что позволило проводить ингибиторный анализ для выявления механизмов влияния внешних факторов на величину мембранныго потенциала. Измерение фотосинтетической активности производилось с использованием разномасштабных РАМ-флуориметров, что позволило выполнить как одновременную регистрацию параметров световой и темновой стадий фотосинтеза, так и провести картирование вызванного электрическим сигналом фотосинтетического ответа по разработанному автором алгоритму. Регистрация флуоресценции pH-чувствительного сенсора Pt-GFP выполнялась с использованием лазерного конфокального микроскопа LSM-710. Таким образом, для выполнения диссертационной работы был использован большой комплекс самых современных методов анализа, соответствующих решаемым задачам.

В главе 3 описано влияние ИИ на морфометрические параметры растений пшеницы и табака, а также активность фотосинтеза и транспирации. Для обоих видов исследованных растений отмечается существенное усиление уровня транспирации под влиянием облучения, что является одним из малоизученных эффектов ИИ.

Глава 4 посвящена анализу влияния ИИ на электрические сигналы и вызываемые ими физиологические реакции. На растениях пшеницы показано существенное влияние ИИ на параметры электрических сигналов, вызванных локальным нагревом. Для обоих видов растений показано значительное изменение ряда фотосинтетических параметров. По итогам проведённого корреляционного анализа автор делает вывод о том, что под действием облучения происходит нарушение линейной связи между амплитудой электрического сигнала, амплитудой сдвигов pH и амплитудой фотосинтетической активности. Отмечается, что в основе обнаруженных автором эффектов, инициируемых облучением, лежат изменения активности H⁺-АТФазы.

Глава 5 посвящена анализу влияния ИИ на вызываемую электрическими сигналами устойчивость к тепловому стрессу. В этой главе приводится гипотетическая схема,

илюстрирующая влияние ИИ на адаптацию растений к нагреванию. Схема внутренне непротиворечива и выстроена на основе результатов, представленных в работе. Изложение результатов и их обсуждение сопровождается большим количеством наглядных иллюстраций. Везде, где это необходимо, автором приводятся схемы проведения эксперимента, что значительно облегчает понимание полученных результатов.

В заключении работы обобщены полученные результаты, на основе которых, в сочетании с данными литературы, сформулирована гипотеза, отражающая механизмы влияния ИИ на электрические сигналы растений. В заключении автором формулируются возможные направления развития тематики исследований. Выводы, представленные в диссертационной работе, объективно отражают полученные автором результаты и полностью соответствуют поставленным цели и задачам исследования.

Новизна исследований. Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что М. А. Гринберг впервые показано, что хроническое β -облучение в малых дозах способно не только влиять на морфофункциональное состояние растений (ростовые параметры, фотосинтез, транспирацию), но также модифицировать вызванные стрессорами дистанционные электрические сигналы. М. А. Гринберг впервые также выявлено, что в основе эффектов ионизирующего облучения лежит изменение активности ряда мембранных переносчиков и сигнальных систем, в первую очередь системы поддержания pH.

Обоснованность научных положений и выводов. В диссертационной работе Гринберг М. А. обоснованно сформулированы научные положения и выводы на основе непротиворечивых результатов собственных оригинальных исследований, выполненных с использованием общепринятых современных методов исследований. В основу выводов в диссертации положены статистически достоверные данные. Выбор методов математической статистики для обработки данных адекватен и подтверждает достоверность результатов. Полученные результаты корректно проанализированы и согласуются с имеющимися в литературе данными независимых исследований других авторов.

Результаты, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию и обсуждение на 9 международных и всероссийских конференциях. Результаты работы прошли рецензирование в международных научных изданиях в процессе публикации статей. По материалам диссертации опубликовано 13 работ, включая 4 статьи в рецензируемых научных изданиях (Web of Science, Scopus), входящих в список ВАК.

Значимость работы для науки и практики. Результаты диссертации могут быть использованы в дальнейшем для прикладных разработок по организации работ на

территориях с повышенным радиационным фоном, а также для планирования возможных работ в области космической биологии. Результаты и выводы диссертационного исследования также могут быть использованы в учебном процессе при разработке спецкурсов для студентов и аспирантов биологического профиля.

Замечания и вопросы по диссертационной работе. В целом диссертационная работа производит благоприятное впечатление. В то же время имеются вопросы и некоторые замечания:

1. Как проводилась калибровка при измерении внутриклеточного pH с помощью сенсора Pt-GFP?
2. Почему облучение, которое использовалось в работе, в *тексте диссертации* чаще называется ионизирующим (ИИ), а не хроническим облучением (как в названии диссертации и выводах) или β -облучением (как в методах)?
3. В выводе 1 сказано, что «Хроническое облучение в малых дозах вызывает рост морфометрических показателей растений пшеницы и табака...». Возникает вопрос – о «росте» каких *конкретных* морфометрических параметров идет речь?
4. Вывод 2 также сформулирован неконкретно: «ИИ в малых дозах усиливает вызванные локальным нагревом электрические сигналы и вызываемые ими ответы фотосинтеза и транспирации у исследуемых растений». Возникает вопрос – какие *конкретные* электрические сигналы и вызываемые ими *конкретные* ответные фотосинтетические реакции инициируются ИИ.
5. В выводе 3 сказано, что «В основе влияния ИИ на электрические сигналы и вызываемые ими функциональные ответы лежит модификация внутриклеточных сигнально-регуляторных систем...». Возникает вопрос – какие сигнальные системы и как модифицируются в ответ на воздействие ИИ?
6. В работе встречаются неудачные выражения: остаточный фотосинтез (с. 42); гидропассивное открывание устьиц (с. 66); величина корреляции (с. 71); амплитуды ответов фотосинтеза (с. 72).

Однако высказанные замечания не снижают научно-практической значимости и общего положительного впечатления от диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа Гринберг М. А. является современным, актуальным и логически завершённым исследованием, выполненном на высоком методологическом и научном уровне. Основные научные результаты диссертационной работы Гринберг М. А. опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых базами Web of Science и Scopus. Достоверность

и обоснованность полученных результатов, научных положений и выводов сомнений не вызывает. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа М.А. Гринберг «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, имеющей научно-практическое значение и отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, ГРИНБЕРГ Марина Антоновна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

Заведующий кафедрой физиологии растений
Санкт-Петербургского государственного университета,
доктор биологических наук, профессор



Сергей Семенович Медведев

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7 – 9
Телефон: +7-981-161-54-60
E-mail: s.medvedev@spbu.ru

Подпись Медведева Сергея Семеновича удостоверяю:



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ СПбГУ
Н. К. КОРЕЛЬСКАЯ

01.11.2023