

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.06, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.09.2022 г. № 14

О присуждении Ладейновой Марии Михайловне, гражданке России, ученой степени кандидата биологических наук.

**Диссертация** «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов» по специальности **1.5.2 – биофизика** принята к защите 06.07.2022 г., протокол № 13, диссертационным советом 24.2.340.06, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, приказ Минобрнауки РФ от 14 октября 2016 года № 1256/нк).

**Соискатель**, Ладейнова Мария Михайловна, 1994 года рождения, в 2021 г. закончила ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Диплом об окончании аспирантуры №105204 0045049, регистрационный номер 18/37-07 выдан 08 октября 2021 г. ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

В период с 2017 г. по 2021 г. обучалась в аспирантуре, сдала кандидатские экзамены по специальности 1.5.2 – Биофизика. Справка о сдаче кандидатских экзаменов от 17.06.2022 г., регистрационный номер СУ 018503 выдана ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

В период подготовки диссертации соискатель Ладейнова М.М. работала на кафедре биофизики Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского в должности младшего научного сотрудника.

**Диссертация** Ладейновой Марии Михайловны «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания

фитогормонов» выполнена на базе кафедры биофизики Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского, была рекомендована к защите на расширенном заседании кафедры биофизики ИББМ 9 июня 2022 г.

Научный руководитель – **Воденев Владимир Анатольевич** – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биофизики Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

**Официальные оппоненты:**

**Медведев Сергей Семенович** - д.б.н., проф., заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург);

**Веселов Дмитрий Станиславович**, д.б.н., г.н.с., и.о. директора Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (г. Уфа)

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

В положительном отзыве официального оппонента д.б.н., проф., **Медведева Сергея Семеновича** отмечено, что диссертационная работа Ладейновой М.М. посвящена анализу ключевых параметров электрических реакций, динамики фитогормонов и фотосинтетических ответов, инициированных при повреждении листьев растений пшеницы и гороха. Ладейновой М. М. установлено, что локальный повреждающий стимул, инициирующий переменный потенциал, вызывает в неповреждённых тканях листа пшеницы резкие колебания содержания таких гормонов как абсцизовая, салициловая и жасмоновая кислоты, а также и жасмонил-изолейцин. Показано, что индуцированное переменным потенциалом повышение содержания жасмонатов может быть связано с изменением уровня ионов  $H^+$  и  $Ca^{2+}$ , а также  $H_2O_2$ . Установлено также, что локальное повреждение листа нагреванием или ожогом снижает фотохимическую активность фотосистемы II и повышает уровень нефотохимического тушения флуоресценции хлорофиллов. Предложен возможный механизм взаимодействия электрического и гормонального сигналов в регуляции функций листа.

**Замечания по работе**

В целом диссертационная работа Ладейновой М. М. производит хорошее впечатление. В то же время есть некоторые замечания и вопросы, требующие дополнительного пояснения.

1. При определении содержания фитогормонов методом внутреннего стандарта изотопно-меченные аналоги гормонов использовались только для абсцизовой и салициловой кислот, при этом меченый аналог для жасмонатов отсутствовал. Каким образом производилась количественная оценка содержания жасмонатов?
2. Оценка интенсивности транспирации проводилась путем измерения температуры поверхности листьев с помощью тепловизора. Однако этот метод косвенный, поэтому возникает вопрос о корректности его использования для оценки реальной транспирации.
3. При обсуждении механизма проведения дистанционных сигналов в стебле гороха отмечается, что их распространение происходит по проводящим пучкам, однако отсутствует упоминание о конкретных тканях, по которым перемещаются изучаемые сигналы.
4. Содержание жасмонатов в тканях растений обычно возрастает при механических раздражениях, происходящих, например, при изменении тургорного давления. Поэтому возникает вопрос: не могут ли инициируемые ожогом или горячей водой эффекты быть следствием осмотических процессов?
5. Из данных, приведенных рис. 5 диссертации (рис. 3 автореферата) следует, что в интактных растениях пшеницы жасмоновая кислоты и её конъюгат изолейцин-жасмонанта отсутствуют, что неверно.
6. В списке литературы отсутствуют ряд последних публикаций, имеющих непосредственное отношение к теме диссертационной работы: Darwish et al., (2022) Touch signaling and thigmomorphogenesis are regulated by complementary CAMTA3- and JA-dependent pathways. *Sci. Adv.* 8, eabm2091; Li et al., (2021) Plant electrical signals: A multidisciplinary challenge. *Journal of Plant Physiology* 261, 153418; Tinturier et al., (2021) Stem bending generates electrical response in poplar. *Physiologia Plantarum*; 173:954–960; Johns et al., (2021) The fast and the furious: rapid long-range signaling in plants. *Plant Physiology* 2021: 185: 694-706; Tran et al., (2019) Electrophysiological assessment of plant status outside a Faraday cage using supervised machine learning. *Scientific Reports* 9:17073; doi.org/10.1038/s41598-019-53675-4.

Однако указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа Ладейновой Марии Михайловны «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов» представляет собой законченное научно-квалифицированное исследование и полностью соответствует критериям ВАК, опубликованных в «Положении о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого

постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор, Ладейнова Мария Михайловна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 — биофизика.

В положительном отзыве официального оппонента д.б.н., **Веселова Дмитрия Станиславовича**, отмечено, что диссертация Ладейновой Марии Михайловны «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов» посвящена выявлению механизмов передачи по растению сигналов о локальных воздействиях, которые лежат в основе реакции растений как единого организма. Эти механизмы координируют процессы, происходящие в пространственно удаленных органах растений, что крайне важно для их адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды, и определяет актуальность их изучения. Работа Ладейновой М. М. направлена на подтверждение гипотезы о взаимодействии электрических и гормональных сигналов, и что в основе такого взаимодействия лежит способность переменного потенциала, распространяющегося из места раздражения, влиять на концентрацию гормонов в пространственно удаленном органе. В работе также уделяется внимание вовлечённости активных форм кислорода, ионов кальция и pH в процесс взаимодействия электрических и гормональных сигналов. В заключении диссертации представлена гипотетическая модель действия переменного потенциала на pH цитоплазмы, влияющего на перераспределение предшественника жасмоновой кислоты в компартмент, где происходит его превращение в жасмоновую кислоту. Заключение и выводы демонстрируют тот факт, что цель работы достигнута, и подтверждают завершенность работы.

Замеченные мною недостатки в содержании и оформлении диссертации, не касаются её сути и носят дискуссионный характер.

1. В разделе обзора литературы, посвященном сигнальной роли ионов кальция не хватает, на мой взгляд, информации о том, что является источником быстрого повышения их концентрации в цитоплазме (поступление из вакуолей или апопласта?).
2. Термин «сигнатура» редко применяется в физиологии растений. Неплохо было бы его расшифровать.
3. Разделение гормонов на ростовые и стрессовые регуляторы (стр. 19) представляется мне упрощенной. Так по данным Sharp с коллегами известно, что «гормон стресса» АБК играет важную роль в поддержании роста корней, не только на фоне стресса, но и в нормальных условиях, а дефицитные по АБК мутанты отличаются меньшими размерами по сравнению с растениями исходного генотипа.
4. Этилен чаще рассматривается как сигнал о затоплении, а не засухе (стр. 20).

5. Вместо термина «деконъюгация гормонов», я рекомендую в дальнейшем использовать более распространенный термин «гидролиз конъюгатов».
6. В своей работе мы обычно взвешиваем образцы до замораживания, поскольку при их извлечении из холодильника на них быстро конденсируются пары воды, что искажает результаты взвешивания. Не понятно, как поступала в этом случае диссертант.
7. Смущает время экстракции для растений пшеницы 15 минут, в то время как растения гороха экстрагировались 18 часов. Возможно это опечатка.
8. Хотелось бы услышать обоснование использования акридина оранжевого для окрашивания лигнифицированных сосудов. Чаще его используют для выявления на срезах ДНК и РНК и для окрашивания кислых вакуолей (лизосом, эндосом и аутофагосом).
9. Вызывает вопрос отсутствие данных по содержанию СК в случае растений гороха. На растениях пшеницы были получены интересные данные по динамике концентрации этого гормона в результате локальных воздействий.
10. На мой взгляд, утверждение о связи между динамикой анализируемых показателей было бы более наглядным, если бы диссертант представила их на одном рисунке, вместо ссылки на отдельные иллюстрации в разных разделах работы.
11. Я не нашел описания метода расчета коэффициента детерминации, о котором говорится на стр. 66.
12. В тексте диссертации встречаются неудачные на мой взгляд выражения: «повышение жасмонатов», «требовало повышения», «сильный свет».

Несмотря на указанные мелкие недочеты, в целом диссертационная работа Ладейновой Марии Михайловны «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов» производит благоприятное впечатление. Она является оригинальной, законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи выявления механизмов передачи сигналов из органа в орган растений, имеющей значение для развития физиологии, биохимии и биофизики растений. Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Ладейнова Мария Михайловна, заслуживает присвоения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 - биофизика.

**Ведущая организация:** Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения

науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (г. Казань) в своем положительном отзыве, подписанном **Самигуллиным Дмитрием Владимировичем**, к.б.н., зав. лабораторией Биофизики синаптических процессов КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, **Суловым Максимом Алексеевичем**, к.б.н., с.н.с. лаборатории механизмов роста растительных клеток КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, **Анисимовым Александром Васильевичем**, д.ф.-м.н., г.н.с. лаборатории механизмов роста растительных клеток КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, **Черновым Владиславом Моисеевичем**, д.б.н., проф., руководителем КИББ ФИЦ КазНЦ РАН и утвержденном **Калачевым Алексеем Алексеевичем**, д.ф.-м.н., член-корр. РАН, директором ФИЦ КазНЦ РАН указала, что диссертационная работа Ладейновой Марии Михайловны «Анализ роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов», является законченной научно-квалификационной работой. В диссертации описаны особенности формирования системного ответа растения на действие стрессовых факторов в растениях гороха и пшеницы. Несомненным преимуществом работы, подчёркивающим также её оригинальность, является охарактеризованная пространственно-временная динамика электрической активности, содержания фитогормонов, а также активности фотосинтеза и транспирации. Диссертантом было обнаружено, что фотосинтетический ответ в растениях гороха и пшеницы обладает двухфазностью. Предполагается, что индуктором первой быстрой фазы снижения активности фотосинтеза, являются изменения ионных концентраций при генерации переменного потенциала, а вторая продолжительная фаза снижения фотосинтетической активности, вероятно, индуцируется изменением содержания фитогормонов. В диссертационной работе показано, что среди проанализированных гормонов наиболее выраженные изменения характерны для жасмонатов, повышение содержания которых индуцируется распространением переменного потенциала и может быть связано с изменением концентраций протонов, ионов кальция и пероксида водорода.

Диссертация Ладейновой М. М. производит общее положительное впечатление, однако, представленная рукопись вызывает ряд замечаний и вопросов:

1) обзор литературы достаточно скромный по объему и он мог бы быть расширен за счет выделения отдельных более специализированных глав. Тем более, что объём диссертационной работы невелик и позволяет это сделать. Количество ссылок в списке литературы также представляется довольно скромным;

2) употребление термина «Ca<sup>2+</sup> сигнатура» кажется спорным, он не является общепринятым;

3) в разделе «Материалы и методы» было бы неплохо объяснить, по какой причине в работе было выбрано два объекта для исследования – растения гороха и растения пшеницы, и почему локальное раздражение в виде нагрева выполнялось только на растениях пшеницы, а ожог – на горохе? Возможно, что это связано с методическими сложностями проведения некоторых видов экспериментов на том или ином растении, что, скорее всего и отражается на результатах, где, например, ингибиторы и почти все флуоресцентные зонды применяли только на растениях пшеницы, а пространственно-временная динамика электрической активности, содержания фитогормонов и активности фотосинтеза только на растениях гороха;

4) в работе не хватает нативных фотографий, полученных в экспериментах по флуоресцентной микроскопии. В частности нет флуоресцентных фотографий экспериментальных объектов, загруженных флуоресцентными красителями (Fluo 4, BCECF и Ampliflu Red). Также отсутствуют фото с тепловизора. Они бы, несомненно, украсили работу;

5) для загрузки листа растворами автор использует вакуум-инфильтрацию с последующей подачей давления 70 кПа. Хотя это распространенный прием, однако, надо учитывать, что при этом клетки испытывают гипоксию, а это быстрый и мощный стресс. Автору следовало бы упомянуть, что он знает об этом факторе. Кроме того, почему 70 кПа, а не 10 или 100 кПа?

6) понятно, что ожог удобный в исполнении вариант стресса, но при ожоге работают факторы температуры и терморазложения клеток и эти факторы по результату воздействия не просто разделить, но следует упомянуть;

7) методическая глава изобилует названиями зарубежных производителей аппаратуры. При всём сложившемся в России уважении к зарубежной технике, не факт, что она всегда обеспечивает 100% корректный результат. Бренд ничего не говорит читателю о конкретных ключевых параметрах прибора. Например, полезно было бы указать чувствительность измерительных усилителей при заданном отношении сигнал/шум. Кстати, отношение сигнал/шум зависит не только от усилителя, но и от качества экранировки измерительной зоны даже при использовании клетки Фарадея;

8) известны определённые проблемы в обеспечении нужной локализации кончика электрода внутри клетки. Целесообразно было бы более подробно остановиться на этом вопросе;

9) использование тепловизора для оценки транспирации изящный способ, но он скорее дает карту распределения температур по листу, а это распределение связано, в том числе, с распределением устьиц по степени их открытости/закрытости и может дать

информацию о механизме модуляции фотосинтеза. Не факт, что все устьица синхронно открываются/закрываются;

10) список литературы не сбалансирован по отечественным и зарубежным авторам, хотя это может быть обусловлено объективными причинами. Тем не менее, автор говорит только о двух отечественных работах из 145, при этом в списке упоминается ряд работ Воденеева с соавторами, Кудояровой и др.;

11) в заключении диссертации дается вразумительная схема развития процессов в листьях при локальном стрессе. Заявленные цели в принципе достигнуты, хотя и представляются в довольно сжатой форме в виде трех выводов.

В целом, перечисленные выше замечания не влияют на сущность работы, а касаются скорее недостатков изложения.

Подводя итог, можно заключить, что диссертация Ладейновой М. М. представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, которая выполнена на высоком научно-теоретическом уровне.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.5.2 – «Биофизика». Работа отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (в редакции от 11 сентября 2021 года), а ее автор Ладейнова Мария Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – «Биофизика» (биологические науки).

**Соискатель** имеет 12 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, 8 тезисов в материалах конференций. Опубликованные работы посвящены исследованию переменного потенциала, динамики содержания фитогормонов, фотосинтетической активности и механизмов формирования системного ответа, опосредованных участием ионов кальция. Опубликованные работы в полной мере отражают результаты диссертационного исследования.

Авторский вклад соискателя составляет 90%. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации Ладейновой М.М. отсутствуют.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации.

1. Yudina L., Sukhova E., Sherstneva O., Grinberg M., **Ladeynova M.**, Vodeneev V., Sukhov V. Exogenous Abscisic Acid Can Influence Photosynthetic Processes in Peas through a

Decrease in Activity of H<sup>+</sup>-ATP-ase in the Plasma Membrane // *Biology*, 2020, Vol. 9, No. 10, P. 324.

2. **Ladeynova M.**, Mudrilov M., Berezina E., Kior D., Grinberg M., Brilkina A., Sukhov V., Vodeneev V. Spatial and Temporal Dynamics of Electrical and Photosynthetic Activity and the Content of Phytohormones Induced by Local Stimulation of Pea Plants // *Plants*, 2020, Vol. 9, No. 10, P. 1364.

3. Mudrilov M., **Ladeynova M.**, Berezina E., Grinberg M., Brilkina A., Sukhov V., Vodeneev V. Mechanisms of specific systemic response in wheat plants under different locally acting heat stimuli // *Journal of Plant Physiology*, 2021, Vol. 258-259, P. 153377.

4. Khlopkov A., Sherstneva O., **Ladeynova M.**, Grinberg M., Yudina L., Sukhov V., Vodeneev V. Participation of calcium ions in induction of respiratory response caused by variation potential in pea seedlings // *Plant Signaling & Behavior*, 2021, Vol. 16, No. 4, P. 1869415.

Указанные публикации входят в перечень ВАК и международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus.

**На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва, все положительные.** В отзывах указывается, что представляемая работа характеризуется высоким теоретическим и экспериментальным уровнем, по своей новизне и актуальности имеет большое научное и практическое значение, соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии.

Отзывы получены из:

1. ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», за подписью к.б.н., с.н.с. лаборатории биофотоники, **Орловой Анны Геннадьевны**, без замечаний.

2. ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», за подписью д.б.н., проф., зав. кафедрой «Лесные культуры» факультета лесного хозяйства, **Бессчетнова Владимира Петровича**, без замечаний.

3. ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова» Российской академии наук от д.б.н., профессора РАН, руководителя центра биофотоники **Гудкова Сергея Владимировича**, без замечаний

4. ФГБОУ ВО "ВГУ" от Колтакова Игоря Александровича, к.б.н., доц. каф. биофизики и биотехнологии и Артюхова Валерия Григорьевича, д.б.н., зав. каф. биофизики и биотехнологии. В отзыве имеется замечание: остается непонятным момент, связанный с использованным дизайном эксперимента: какими критериями руководствовался диссертант, выбирая для блока исследований по изучению влияния ожога – горох (двудольное растение), а для блока, посвященного изучению механизмов

воздействия локального нагрева – пшеницу (однодольное растение), и как различия в организации проводящей системы этих растений влияют на распространение переменных потенциалов.

Эти незначительные замечания не снижают научной ценности работы, проделанной Ладейновой М.М., а её автор, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием критериям требований, изложенных в пп. 22 и 24 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842: являются компетентными по заявленной в диссертации специальности, имеют профильные публикации по проблеме диссертационного исследования и способны объективно оценивать актуальность темы диссертации, а также достоверность, теоретическую значимость и научно-практическую ценность полученных в работе результатов (сведения о них размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»: <https://diss.unn.ru/1288>).

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработана** схема механизмов взаимодействия электрической и гормональной сигнальных систем в развитии системного ответа;
- **предложены** возможные механизмы индукции изменений содержания фитогормонов при распространении переменного потенциала;
- **показаны** различия в динамике фитогормонов, что указывает на роль жасмонатов в индукции ответа фотосинтеза;
- **выявлена** связь между переменным потенциалом, изменением содержания фитогормонов и ответом фотосинтеза на основе анализа пространственно-временной динамики;
- **доказана** роль изменений рН в регуляции концентрации жасмонатов при локальном раздражении.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **проведено** комплексное исследование электрической и фотосинтетической активности и содержания фитогормонов при локальном раздражении;
- **доказано** влияние внутриклеточного рН на концентрацию жасмонатов;
- **изучена** временная динамика концентрации фитогормонов и активности

фотосинтеза в нераздраженных частях растения при распространении переменного потенциала, вызванного локальным стимулом;

- **раскрыты** механизмы индукции изменений содержания жасмонатов при распространении переменного потенциала;

- **охарактеризованы** особенности переменного потенциала, динамики концентрации фитогормонов и активности фотосинтеза на различном расстоянии от зоны локальной стимуляции.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **разработана** схема возможного механизма формирования системного ответа растения на действие локальных стрессовых факторов, обусловленного взаимодействием электрической и гормональной сигнальных систем;

- **определены** механизмы регуляции содержания фитогормонов переменным потенциалом, обеспечивающие координацию физиологических процессов в растительном организме при действии стрессовых факторов;

- **изложены** результаты, демонстрирующие возможные физиологические механизмы, обеспечивающие устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды;

- **представлены** результаты, которые вносят существенный вклад в понимание процессов, обеспечивающих приспособление растений к изменению условий обитания.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** использовано современное сертифицированное оборудование, обеспечивающее надежность полученных данных; проведено большое количество экспериментов, позволяющее оценить воспроизводимость результатов исследований, использованы стандартные методы статистического анализа, позволяющие оценить достоверность полученных результатов;

- **теория** построена на известных данных о механизмах генерации и распространения электрических сигналов, путях биосинтеза фитогормонов и процессах, приводящих к изменению активности фотосинтеза;

- **идея** базируется на существующих гипотезах о взаимодействии электрической и гормональной сигнальных систем и имеющихся в литературе данных по дистанционным стрессовым сигналам растений различной природы;

- **использованы** как современные методы исследования: микроэлектродная

техника измерения мембранного потенциала, определение содержания фитогормонов методом жидкостной хроматомасс-спектрометрии, флуоресцентный имиджинг, так и стандартные методы исследования: внеклеточное измерение электрической активности, ингибиторный анализ, анатомическое исследование стебля гороха;

- **установлено**, что результаты работы согласуются с современными данными в области биофизики и физиологии растений, не противоречат результатам исследований других авторов, расширяют и дополняют их.

**Личный вклад соискателя состоит** в участии в проведении работы на всех этапах её выполнения, включая изучение научной литературы по теме исследования, проведение исследований, сбор, обработку, интерпретацию полученных результатов, их анализ, обсуждение и графическое отображение, а также подготовку научных статей и представление результатов на конференциях.

Диссертация является целостным, законченным научным исследованием, охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критериям внутреннего единства, что подтверждается четкой логикой и соответствующей содержанию работы структурой исследования, формулировками цели работы и выводов на основании полученных результатов. Диссертация соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и заданы вопросы: каков биологический смысл снижения активности фотосинтеза при локальном повреждении? Имеет сходство динамика концентрация ионов кальция и пероксида водорода при распространении переменного потенциала и невозможно выделить причину и следствие. Как достигалась стандартизация ожога? Каков механизм закрытия устьиц под действием исследуемых в работе гормонов?

Соискатель Ладейнова М. М. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, указав, что: снижение активности фотосинтеза играет важную роль во временном повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям окружающей среды; процессы увеличения концентрации ионов кальция и пероксида водорода являются взаимозависимыми, развиваются параллельно и способствуют усилению друг друга за счёт существования АФК-зависимых кальциевых каналов и кальций-связывающих ферментов, продуцирующих АФК; ожог стандартизировали за счёт контроля площади листа, подвергаемой действию ожога, и времени нанесения ожога; известен жасмонат-опосредованный механизм закрытия устьиц, основанный на восприятии рецептором жасмонил-изолейцина, развитии

последующего сигнального каскада, приводящего к оттоку ионов калия из клетки, потере тургора и закрытию устьиц.

На заседании 22 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение за исследование роли индуцированного локальным раздражением переменного потенциала в системном изменении содержания фитогормонов и определение механизмов индукции таких изменений, имеющее значение для развития биофизической науки присудить Ладейновой Марии Михайловне ученую степень кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.5.2 – биофизика, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя

диссертационного совета

 Дерюгина Анна Вячеславовна

Ученый секретарь

диссертационного совета

 Акинчиц Елена Константиновна

22 сентября 2022 года

