

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 16.11.2023 г. № 10

О присуждении Гринберг Марине Антоновне, гражданке России, ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» по специальности 1.5.2 – биофизика принята к защите 11.09.2023 г., протокол № 9, 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, Гринберг Марина Антоновна, 1996 года рождения, в 2019 г. окончила магистратуру ННГУ им. Н. И. Лобачевского по направлению подготовки «06.04.01 – Биология».

В период с 2019 по октябрь 2023 г. обучалась в аспирантуре ННГУ на кафедре биофизики Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н. И. Лобачевского. Диплом об образовании и о квалификации № 105204 0032864, регистрационный номер 37-107 выдан 08 июля 2019 года ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского». Сдала кандидатские экзамены по специальности 1.5.2. – Биофизика (биологические науки). Справка о сдаче кандидатских экзаменов №066/Аот 31.08.2023 г. выдана ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».

В период подготовки диссертации соискатель Гринберг М. А. работала в должности младшего научного сотрудника в лаборатории радиобиологии Центра биофизики Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Диссертация Гринберг Марины Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» выполнена на базе кафедры биофизики Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского, была рекомендована к защите на расширенном заседании кафедры биофизики ИББМ 08.06.2023 г.

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

Официальные оппоненты:

Позолотина Вера Николаевна - д.б.н., профессор, с.н.с., заведующая лабораторией популяционной радиобиологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Медведев Сергей Семенович – д.б.н., профессор, заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

дали положительные отзывы на диссертацию.

В положительном отзыве официального оппонента д.б.н., **Позолотиной Веры Николаевны**, отмечается, что диссертационная работа М. А. Гринберг посвящена одной из важных и актуальных проблем биофизики – исследованию модифицирующего действия ионизирующих излучений (ИИ) на электрические сигналы растений, возникающие в ответ на тепловой стресс, с детальным анализом формирования функциональных ответов и адаптации организмов к последующим неблагоприятным воздействиям. Результаты диссертационного исследования вносят вклад в создание единой концепции работы сигнально-регуляторных систем растений. Полученные данные проясняют механизмы влияния хронического облучения на электрические сигналы растений и порождаемые ими функциональные реакции, а также констатируют изменение адаптации к последующим стрессам на фоне действия ИИ. Полученные результаты могут быть использованы для фундаментальных исследований и прикладных разработок на территориях с повышенным радиационным фоном, а также для планирования работ в рамках создания искусственных экосистем.

По материалам диссертации опубликовано 13 работ, включая 4 статьи в рецензируемых научных изданиях (Web of Science, Scopus), входящих в список ВАК. Основные результаты работы были представлены на 10 научных школах и конференциях.

К работе имеется ряд замечаний и пожеланий.

1. Возникают вопросы к дозиметрии. Автор не дает описания алгоритма расчета дозы, а это важно с учетом определенной специфики бета-излучения ^{90}Sr .

2. Довольно часто автор пишет об увеличении или уменьшении показателей на уровне тенденций. Например, рис. 6 «Уровень NPQ при облучении несколько снижался, но не достоверно». Или стр. 57, рис. 15 у табака «имела место некая тенденция к усилению сигнала у облученных растений». Однако только статистическая оценка позволяет сделать заключение о значимом эффекте. Если есть возможность повысить точность измерений, ее желательно использовать.
3. Автор исследовала 2 вида растений: из класса однодольных (пшеница) и двудольных (табак). Выявлен ряд видовых различий, которые позволяют предполагать межвидовую изменчивость реакций растений на ИИ+ВП. Желательно обсудить этот феномен с привлечением литературных данных и учитывать в будущих исследованиях.
4. На стр. 54 приводится схема, в которой выделены 3 этапа, ведущие к развитию интегральной устойчивости 1) рецепция стрессора, генерация и распространение дистанционного сигнала, 2) развитие вызванных сигналом функциональных ответов, 3) формирование интегральной устойчивости организма к стрессору. Для будущих исследований было бы полезно добавить еще один этап – затухание сигнала после воздействия. Важно знать, какие механизмы возвращают динамическое равновесие к норме или приводят к повышению/понижению устойчивости в разные периоды времени. Известно, что «stress memory» может проявляться в течение длительного периода. Приведенные в работе результаты уже закладывают основу для такого анализа.
5. Обосновав необходимость продолжения работы, автор упомянула системы АФК- Ca^{2+} и гормональной регуляции, как на уровне активности сигнальных путей, так и на уровне генетической регуляции количества их компонентов. Можно было бы расширить ряд задач, включив в него белки теплового шока.
6. Отмечено небольшое количество неточностей и опечаток. Например, автор указала, что список литературы «содержит 216 источников, в том числе 213 работ иностранных авторов». На самом деле многие статьи, опубликованные в иностранных журналах, написаны российскими авторами.

Замечания, сделанные в отзыве, не умаляют значимости работы и не отражаются на выводах и основных положениях, выносимых на защиту, большинство из них могут расцениваться как предложения по развитию дальнейших исследований.

Диссертация Гринберг Марины Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании полученных автором результатов изложены новые научно обоснованные данные, имеющие существенное

значение для развития биофизики и радиобиологии и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук («Положение о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденное постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), а ее автор – Гринберг Марина Антоновна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

В положительном отзыве официального оппонента д.б.н., **Медведева Сергея Семеновича**, отмечается, что диссертационная работа Гринберг Марины Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» посвящена изучению влияния хронического ионизирующего облучения на электрические сигналы и их роли в адаптации растений к неблагоприятным факторам. В работе рассматриваются биологические эффекты β -излучения на растения пшеницы и табака. Хроническое ионизирующее излучение в малых дозах способно влиять на рост и развитие растений, а также активность различных физиологических процессов. Однако механизмы влияния ИИ на живые организмы изучены недостаточно. Формирование у растений устойчивости к стрессорам может быть связано с возникновением и распространением дистанционных стимулов, одним из которых могут быть электрические сигналы. В работе 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 эффекторов ионизирующего облучения лежит изменение активности ряда мембранных переносчиков и мембранных систем, в первую очередь системы поддержания pH.

Вопросы и замечания к работе:

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 показателей идет речь?
4. Вывод 2 также сформулирован некорректно: «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 З 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 положительно впечатления от диссертационной работы. Полученные в рамках исследования результаты, опубликованы в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, рецензируемых в базах данных Web of Science, Scopus. Достоверность и обоснованность полученных результатов, выносимых на защиту положений и выводов не вызывает сомнений.

Диссертация Гринберг Марины Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» по объему проведенных исследований, по научной значимости полученных результатов, по разнообразию и адекватности примененных методов исследования, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук («Положение о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденное постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), а ее автор – Гринберг Марина Антоновна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

Ведущая организация: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), г. Сыктывкар, в своем положительном отзыве, подписанным к.б.н., старшим научным сотрудником отдела радиоэкологии ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Велегжаниновым Ильей Олеговичем; д.б.н., ведущим научным сотрудником лаборатории экологической физиологии растений ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Гармаш Еленой Владимировной; к.б.н. заведующей отделом радиоэкологии Раскоша Оксаной Вениаминовной и утвержденном и.о. директора ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.х.н. А.Я. Полле указывает, что диссертационная работа Гринберг Марии Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» является актуальным и оригинальным исследованием, выполненным на высоком уровне.

Диссертационная работа посвящена изучению влияния хронического воздействия β-излучения в малых дозах на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам. Также в работе исследованы морфофункциональные изменения в растениях, подвергшихся такому облучению.

Диссертация затрагивает значимую, актуальную и малоизученную тему влияния низкоинтенсивного ИИ на электрические дистанционные сигналы в растениях и на механизмы адаптации к абиотическому стрессу. Автором выполнен оригинальный комплекс экспериментальных исследований, в которых использованы современные методы биофизики, физиологии и биохимии растений. Показано, что хроническое низкоинтенсивное воздействие β -излучения может модифицировать параметры дистанционных электрических сигналов, возникающих при действии локального перегрева тканей, а также вызываемые ими функциональные ответы, связанные с фотосинтезом, транспирацией и устойчивостью к общему тепловому стрессу. Автором выявлены основные механизмы, лежащие в основе эффектов облучения на электрические сигналы и вызываемые ими ответы, такие как изменение активности протонной АТФазы, сдвиги pH и концентрации ионов кальция. Обсуждена связь данных механизмов с обнаруженными в других исследованиях радиационно-индукционными гормональными изменениями и изменениями в транскриптоме растений.

Основные результаты работы прошли апробацию в виде обсуждения на 4 международных и 5 всероссийских конференциях с заявленной тематикой, соответствующей диссертационному исследованию. По результатам, представленным в работе, написано 13 публикаций, в том числе 4 статьи, индексируемых в Web of Science, Scopus. Почти во всех публикациях Марина Антоновна является первым автором, что подтверждает личный вклад автора в представленную диссертационную работу.

Работа оставляет положительное впечатление.

В качестве замечаний и вопросов следует отметить:

1. Начиная с введения, формулировки целей и задач и до самого конца в работе не уделяется внимание тому факту, что облучение производилось β -излучателем. Несмотря на исчерпывающее описание процесса облучения в Главе 2 «Материалы и методы», во введении рукописи и в обсуждении результатов, применяется сокращение «ИИ». Между тем, очевидно, что при одной и той же дозе облучения эффекты, индуцированные излучением разных типов (α , β , γ) могут принципиально отличаться ввиду различной проникающей способности и плотности передачи энергии веществу. В формулировке целей и задач, а также в некоторых местах по тексту следовало уточнять природу излучения, а при сравнении эффектов ИИ в малых дозах, обнаруженных в представленной работе, с эффектами, обнаруженными в других исследованиях, уточнять природу излучения, использованного в последних. То же касается режима облучения (острое и хроническое) при обсуждении результатов представленной работы в контексте с другими исследованиями следовало указать режим облучения в последних.

2. В работе использовалось облучение растений при одной мощности дозы (31,3 мкГр/час). Накопленная доза была одна для пшеницы (11 мГр) и одна для табака (31,3

мГр/час), соответственно продолжительности облучения каждого из объектов. При этом повсеместно по тексту диссертации в промежуточных и итоговых выводах и в общем заключении используется формулировка «ИИ в малых дозах» и «ИИ с низкой мощностью дозы», обобщающие эффекты на некий диапазон. Очевидно, что автор использует данные формулировки в контексте с результатами других исследований, и никакой фактической ошибки здесь нет, однако, констатируя результаты представленной работы, следовало уточнять мощность дозы.

3. Не совсем корректно употреблены некоторые термины. Термин «Уровень ассимиляции CO₂», судя по используемым методикам и оборудованию, принято обозначать как «скорость нетто-фотосинтеза» или «скорость видимого CO₂ – газообмена». При обозначении морфометрических параметров используется термин «масса», а не «вес» (рис. 5, с.14,45, 37, 46). Вес – это векторная величина, сила, с которой тело действует на опору или подвес (единица измерения – ньютон).

4. Немного смущают несколько пониженные величины реального квантового выхода (ФРСII) у табака при использовании данного уровня актиничного света - 239мкмоль/m²s⁻¹((рис. 3Б). С чем это может быть связана? В каких световых условиях выращивались растения? В диссертации и автореферате не приведена эта информация. Возможно, при выращивании использовалась более низкая освещенность, а уровень актиничного света был выше этих значений? На это указывает и немного заниженная величина Fv/Fm, которая в оптимальных для роста условиях равна 0.8.

5. В главе 3 речь идет о влиянии ИИ на такие физиологические процессы, как активность фотосинтеза и транспирация. Оба процесса взаимосвязаны, а движения устьиц и транспирационная активность определяется комплексом факторов. Автор показывает одновременное увеличение скорости фотосинтеза и транспирации. А усиление транспирации объясняет только с точки зрения изменения баланса фитогормонов. Возможно ли, что снижение концентрации CO₂ в межклетниках вследствие повышения скорости поглощения CO₂ при действии ИИ стало причиной открытия устьиц и увеличения активности транспирации?

6. При изучении влияния ИИ на параметры вызванных ВП функциональных ответов показано (Глава 4), что в условиях облучения активность H⁺-АТФ-азы повышена.⁶ в присутствии ингибитора АТФ-азы при действии ИИ происходило усиление сдвигов pH в кислую сторону. Вместе с тем, ИИ снижало устьичную проводимость, вызываемую прохождением ВП. Как можно связать эти 2 события, учитывая, что активация H⁺- зависимой АТФазы на плазмалемме приводит, как правило, к открытию устьиц? Возможно, изменение направленности этих процессов связано со сдвигом соотношения метаболитов

(фосфоенолпиривата и малата), преобразующих их ферментов, содержания ионов калия и кальция, что, безусловно, может стать целью будущих исследований.

7. В рукописи встречаются технические недочеты. Например, при указании на использование программы ImageJ следует добавлять рекомендованную разработчиками ссылку на публикацию, описывающую возможности программы, так как это некоммерческий проект. В разделе «Структура и объем диссертации» говориться, что «список литературы включает 216 источников, в том числе 213 работ иностранных авторов» тогда как множество англоязычных ссылок относятся к опубликованным в международных журналах работам российских исследователей.

Высказанные замечания не имеют принципиального характера и не снижают значимость полученных результатов.

Диссертационная работа Гринберг Марии Антоновны «Влияние хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам» отличается высоким научным уровнем, актуальностью и новизной полученных результатов, а также практической значимостью. Результаты работы зарождают ряд новых вопросов, однако от этого диссертация не перестает быть цельным и логически завершенным научным трудом. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в «Положении о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2. - биофизика

Соискатель имеет 13 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. Опубликованные работы посвящены исследованиям воздействия хронического низкоинтенсивного β -излучения, которое может модифицировать параметры дистанционных электрических сигналов, возникающих при действии локального перегрева тканей, а также вызываемых ими функциональных ответов, связанных с фотосинтезом, транспирацией и устойчивостью к общему тепловому стрессу. Опубликованные работы в полной мере отражают результаты диссертационного исследования.

Авторский вклад соискателя составляет 83,2 %. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации Гринберг М.А. А. отсутствуют.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации.

1. Gudkov S., Grinberg M., Sukhov V., Vodeneev V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants // Journal of Environmental Radioactivity, 2019, Vol. 202, P. 8-24.

2. Grinberg M.A., Gudkov S.V. Balalaeva I.V., Gromova E., Sinitsyna Yu., Sukhov V., Vodeneev V. Effect of chronic β -radiation on long-distance electrical signals in wheat and their role in adaptation to heat stress // Environmental and Experimental Botany, 2021, Vol. 184, 104378.
3. Grinberg M.A., Vodeneev V.A., Il'in N.V., Mareev E.A. Laboratory Simulation of Photosynthesis in a Wide Range of Electromagnetic and Radiation Environment Parameters // Astronomy Reports, 2023, Vol. 67, P. 71-77.
4. Grinberg M., Nemtsova Yu., Ageyeva M., Brilkina A., Vodeneev V. Effect of low-dose ionizing radiation on spatiotemporal parameters of functional responses induced by electrical signals in tobacco plants // Photosynthesis Research, 2023. DOI: 10.1007/s11120-023-01027-9.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов, 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. ФГБОУ ВО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» от к.б.н., ведущего научного сотрудника лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии **Бондаренко Екатерины Валерьевны**. В работе присутствуют незначительные недостатки, например: «вес растений» — более удачным было бы использование термина «масса растений»; не «малые дозы ИИ», а «ИИ в малых дозах»; отсутствие рисунка 12 в автореферате; отсутствие объяснения термина «остаточная активность фотосинтеза»; непонятно, с чем связана разница (В 2,8 раз) во времени облучения исследуемых видов растений и могла ли она повлиять на межвидовые морфофункциональные различия, наблюдаемые у облученных растений пшеницы и табака. Эти недостатки не умаляют достоинств диссертационной работы и не влияют на значимость описанных результатов, выводов и положений, выносимых на защиту. Автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2-биофизика.
2. Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН от к.б.н., с.н.с лаборатории механизмов роста растительных клеток **Суслова Максима Алексеевича**. В положительном отзыве имеется вопрос: В связи с тем, что ИИ вызывает усиление электрических сигналов по амплитуде и скорости распространения, но при этом устойчивость растений к тепловому стрессу снижается, можно ли утверждать, что амплитуда и скорость распространения сигналов не имеет первостепенной роли в

повышении устойчивости растений к стрессам? Вопрос носит дискуссионный характер и не снижает общего положительного впечатления о диссертационной работе Гринберг М.А. Автор, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2-биофизика.

3. ФГБОУ ВО «МГУ им. М. П. Огарева» от декана факультета биотехнологии и биологии, профессора кафедры биотехнологии, биохимии и биоинженерии, д.б.н., **Ревина Виктора Васильевича**. В положительном отзыве имеется вопрос: мощность дозы источника составляла 31,1мкГр/час, не совсем понятно, на основании каких данных была выбрана именно такая мощность. Вопрос носит уточняющий характер и не снижает общего положительного впечатления о диссертационной работе Гринберг М.А. Автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2-биофизика.
4. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», от зав. кафедрой биофизики и биотехнологии ФГБОУ ВО «ВГУ», заслуженного деятеля науки РФ, д.б.н., профессора **Артюхова Валерия Григорьевича**, без замечаний.
5. Институт космических исследований РАН, от к.ф.-м.н. **Ожередова Вадима Андреевича**, научного сотрудника. Отзыв положительный, с некоторыми несущественными замечаниями. Каждый отсчет графиков и диаграмм представляет собой уровень среднего значения и коридор вокруг него. Если коридоры вокруг среднего при наличии ИИ не пересекаются с коридорами при его отсутствии, это трактуется как (визуальное) подтверждение наличия эффекта, хотя понятно, что можно привести множество примеров, когда отсутствие таких пересечений ни о чем не говорит. В самом автореферате автор упоминает сравнение средних по критерию Стьюдента среди методов обработки данных, однако визуальные материалы сравнения средних не касаются. Далее, в начале работы автор приводит (к сожалению, единственный) критерий применимости своих методов к экспериментальным данным — это их нормальное распределение, однако результаты проверки этой нормальности не показывает. Эти замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и не влияют на значимость описанных результатов, выводов и положений, выносимых на защиту. Автор 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 соискателя 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/1383>).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

выяснено, что хроническое облучение в малых дозах вызывает рост морфометрических показателей растений пшеницы и табака, стимулируя активность фотосинтеза и транспирации, а также повышая величину мембранныго потенциала;

обнаружено, что малые дозы ионизирующего излучения способны усиливать дистанционные стрессовые электрические сигналы растений, а также вызываемые ими ответы фотосинтеза и транспирации;

доказана возможность реализации действия низкоинтенсивного ионизирующего излучения посредством модификации внутриклеточных сигнально-регуляторных систем, задействованных, в частности, в процессе преобразования сигнала в функциональный ответ;

выявлена способность малых доз ИИ нарушать развитие вызванной электрическим сигналом устойчивости к тепловому стрессу вплоть до инвертирования вызываемых сигналом эффектов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана высокая роль вызванной облучением модификации сигнально-регуляторных систем растений в формировании устойчивости к дополнительным стресс-факторам среды;

результативно использованы электрофизиологические и флуоресцентно-оптические методы для диагностики статуса сигнально-регуляторных систем растений, выращенных в условиях повышенного радиационного фона;

раскрыты новые молекулярно-клеточные и системные механизмы, связанные с действием на растения низкоинтенсивного ионизирующего излучения;

выявлена роль системы поддержания pH формировании ответа на низкоинтенсивное ионизирующее излучение;

выстроена внутренне непротиворечивая концепция влияния малых доз ионизирующего излучения на развитие устойчивости к тепловому стрессу у растений;

внесён значительный вклад в построение целостной картины влияния хронического ИИ на адаптацию растений к действию неблагоприятных абиотических факторов среды.

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

определен, что изменение параметров реакции облучённых растений на дополнительное стрессовое воздействие может быть обусловлено модификацией статуса сигнальных систем;

показано, что дистанционные стрессовые сигналы растений обладают более высокой чувствительностью к ионизирующему излучению по сравнению с традиционно измеряемыми физиологическими и ростовыми показателями;
представлены свидетельства способности электрических сигналов вызывать изменённые реакции на дополнительные стресс-факторы среды в условиях хронического облучения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

проведено большое количество экспериментов, позволяющее оценить воспроизводимость результатов исследований, использованы стандартные методы статистического анализа, позволяющие оценить достоверность полученных результатов;

использовано высокотехнологичное оборудование и надежные апробированные экспериментальные методы;

установлено качественное и количественное согласие с теоретическими выводами и обоснованиями, а также с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в участии в проведении работы на всех этапах её выполнения, включая постановку задач, планирование и проведение экспериментов, обработку и интерпретацию полученных результатов, 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:

- 1) Как измерялся мембранный потенциал: на отдельной клетке, на целом листе или на срезах листа? Если на целом листе, нужно пояснить, как велась работа на непрозрачном объекте.
- 2) Поскольку для регистрации метаболической компоненты использовалась довольно большие концентрации ортovanадата, есть вероятность получить эффекты, обусловленные значением pH раствора, а не действием ингибитора.
- 3) Недостаточно раскрыты видоспецифичные эффекты облучения у исследованных растений. 4) Необходимо пояснить предполагаемые механизмы влияния ионизирующего излучения на параметры электрических сигналов. 5) Почему в качестве воздействия был выбран тепловой стресс, а не иной тип воздействия.

Соискатель Гринберг М.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию, указав, что: 1) Измерение мембранных потенциалов производились на целом растении. В системе регистрации используется освещение в дальнекрасном и ближнем ИК диапазоне, в котором имеет место достаточная глубина визуализации. 2) Для оценки специфичности эффекта ингибитора были выполнены дополнительные эксперименты, с использованием NaCl (учет ионной компоненты) и NaN₃ (угнетение активности H⁺-АТФазы иным путем). 3) Имеется определенная, характерная для различных видов растений, специфичность ответных реакций, в частности для морфометрических показателей. В то же время, эффект облучения на электрические сигналы и индуцированные ими функциональные ответы был схож (идентичен). 4) Одним из основных механизмов усиления электрических сигналов облучённых растений является увеличение активности H⁺-АТФазы. Также предложен эффект облучения на совместно распространяющиеся волны АФК и Ca²⁺. 5) Такой стрессор был выбран в силу его типичности для природных условий и наличия большого объема данных об ответных реакциях растений на его действие в отсутствие облучения.

На заседании 16 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение за исследование влияния хронического облучения на электрические сигналы растений и их роль в формировании устойчивости к стресс-факторам, что имеет важное развитие для биофизики, присудить Гринберг Марине Антоновне ученую степень кандидата биологических наук по специальности 1.5.2 – биофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.5.2 – биофизика, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета



 Дериугина Анна Вячеславовна

 Черкасова Елена Игоревна

16 ноября 2023 года