

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Афонинной Светланы Олеговны на тему: «Оценка влияния редко- и плотноионизирующего излучения на морфологические, биохимические и генетические показатели пророщенных семян *Hordeum Vulgare L.*», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. Радиобиология в диссертационный совет 68.1.003.01 при ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

**Актуальность темы диссертационной работы.** Сохранение устойчивости биосферы и обеспечение продовольственной безопасности в контексте экспоненциального нарастания климатических изменений представляют собой ключевые вызовы современной науки и практики. Исследование адаптационных механизмов растений в ответ на стрессовые факторы низкой интенсивности способствует углублению наших знаний о молекулярных каскадах, регулирующих стрессоустойчивость. Модификация этих молекулярных путей открывает перспективы повышения стрессорезистентности высших растений, что, в свою очередь, может значительно способствовать устойчивому развитию аграрного сектора и обеспечению продовольственной безопасности на глобальном уровне.

Дикорастущие и сельскохозяйственные растения постоянно подвергаются действию факторов окружающей среды и антропогенных загрязнителей. В настоящее время особое внимание уделяют вопросу о способности растений адаптироваться к быстро изменяющимся климатическим условиям, которые могут оказывать негативное воздействие как на природные популяции, так и на урожай сельскохозяйственных культур.

Одновременное действие климатических изменений и антропогенных загрязнителей может вызывать синергические негативные эффекты в популяциях растений. Пластичность и генетический ресурс растений, необходимые для адаптации, могут истощаться из-за увеличения интенсивности стрессовых воздействий. В силу прикрепленного существования растения не могут избежать стрессовых условий среды, поэтому их стратегии минимизации последствий стрессовых воздействий ограничены специфическими изменениями в метаболических путях и модификацией экспрессии генов.

Исследование адаптационных механизмов культурных и дикорастущих растений к окружающей среде является ключевой задачей современной биологии и экологии. Понимание этих процессов имеет фундаментальное значение для разработки стратегий экологической ремедиации и создания новых сортов сельскохозяйственных культур, обладающих устойчивостью и продуктивностью.

С отзывом ознакомлена Афонинна С.О.

*С.О.* 07.05.2026

В <b>повышенной</b>
ДАТА 07.05.2026
КОЛ-ВО ЛИСТОВ: 6
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Адаптация растений к стрессовым условиям представляет собой сложный многофакторный процесс, требующий детального изучения сигнальных путей, активируемых в ответ на различные стрессоры. В частности, необходимо исследовать молекулярные механизмы, ответственные за передачу сигналов, и определить их роль в регуляции физиологических и биохимических процессов, направленных на преодоление неблагоприятных условий.

Диссертация Афониной Светланы Олеговны посвящена решению актуальной проблемы - анализу влияния редко- и плотноионизирующего излучения на морфологические, биохимические и генетические показатели ячменя обыкновенного.

Автором четко обозначены цель и задачи исследований. Заявленная в работе цель – анализ влияния редко- и плотноионизирующего излучения на морфологические, биохимические и генетические показатели ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare L.*) трех сортов Витязь, Ладны и Бадьорий. Исходя из поставленной цели, на разрешение проблемы были сформированы 4 взаимосвязанные задачи.

**Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** В диссертационной работе Афониной Светланы Олеговны впервые были показаны закономерности и различия влияния гамма-облучения, облучения протонами и тяжелыми ионами  $^{12}\text{C}$  на морфологические, биохимические и цитогенетические показатели ячменя обыкновенного. Впервые выявлен спектр хромосомных aberrаций в клетках проростков ячменя обыкновенного после действия протонного излучения и облучения тяжелыми ионами углерода. Впервые исследована транскрипционная активность генов стрессового ответа (HORVU2Hr1G057880, кодирующий пролил-тРНК синтетазу; HORVU5Hr1G125450, кодирующий мембранный белок PM19L; HORVU2Hr1G040780, кодирующий хлорофилл *ab*-связывающий белок LHCP типа III) после действия протонного излучения и облучения тяжелыми ионами углерода.

Полученные в результате исследования данные полезны для развития фундаментальных основ радиобиологии растений и космической радиобиологии. Анализ полученных закономерностей изменения морфологических, биохимических и цитогенетических показателей семян ячменя обыкновенного после облучения ионизирующим излучением с разной ЛПЭ дополняют фундаментальные представления об адаптивных механизмах растений после облучения.

**Практическая ценность работы** связана с экспериментальным подкреплением обоснования технологии предпосевного облучения семян, а также полученные данные могут быть использованы для моделирования систем выращивания растений в условиях космического полета. Полученные в результате подготовки диссертации данные используются в учебном процессе при изучении студентами направлений подготовки 03.03.02 –

Физика, 06.03.01, 06.04.01 – Биология, таких дисциплин, как «Радиобиология», «Биоэффекты малых доз радиации», «Нормирование радиационного и химического загрязнения».

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, достоверность полученных данных.** Работа выполнена автором в период с 2015 по 2024 гг. на базе лабораторий Центра биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

С целью изучения влияния гамма-, протонного излучения, а также облучения тяжелыми ионами ( $^{12}\text{C}$ ) на морфологические показатели (длина ростка и главного корня) *Hordeum vulgare L.* трех сортов облучение семян гамма-квантами работы проводили на базе НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (Калужская область, г. Обнинск), на УНУ «ГУР-120» Источник излучения –  $^{60}\text{Co}$ . Облучение тяжелыми ионами  $^{12}\text{C}$  проводили на базе НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (Московская область, г. Протвино) на каскаде ускорителя «У-70». Облучение протонами проводили на базе МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России (Калужская область, г. Обнинск) на установке «Прометеус». В ходе экспериментальных исследований были выявлены статистически значимые различия в длине ростков и главного корня, появившихся при прорастании облученных семян ячменя трех сортов на 7 сутки после гамма-облучения. Полученные данные согласуются с данными других исследований, показавших наличие данного эффекта при облучении злаковых культур гамма-излучением.

Оценивая содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b, каротиноидов) в проростках ячменя обыкновенного трех сортов после воздействия редко- и плотноионизирующего излучения установлено, что в отличие от результатов, полученных облучении гамма-квантами, у проростков всех трех исследуемых сортов, полученных из семян, подвергнутых протонному излучению, наблюдается дозозависимая динамика изменения пигментного состава. В ходе экспериментальных исследований были выявлены статистически значимые различия в содержании хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов в проростках ячменя обыкновенного трех сортов, появившихся при прорастании облученных семян на 10 сутки после облучения тяжелыми ионами  $^{12}\text{C}$ .

Анализируя изменение содержания стрессовых метаболитов (малонового диальдегида и пролина) в тканях *Hordeum vulgare L.* в ответ на излучения разного качества, автор показывает зависимость влияния гамма-облучения и облучения протонами на содержание свободного пролина в проростках ячменя обыкновенного трех сортов. После облучения протонами отмечено дозозависимое увеличение концентрации свободного пролина в ростках ячменя обыкновенного сортов Витязь и Ладны с дозы облучения 5 Гр. Изменений в концентрации свободного пролина у проростков ячменя трех сортов после облучения ионами  $^{12}\text{C}$  в дозах 1-6 Гр не выявлено. В исследовании по влиянию плотноионизирующего излучения на содержание

МДА в ростках ячменя обыкновенного трех сортов не выявлено отличий от контроля, как в случае применения протонного излучения, так и в случае действия тяжелых ионов  $^{12}\text{C}$ .

Решая четвертую задачу, исследование влияние гамма-, протонного излучения, а также облучения тяжелыми ионами ( $^{12}\text{C}$ ) на цитогенетические (митотический индекс, частота клеток с цитогенетическими нарушениями, спектр цитогенетических нарушений) и генетические показатели (гены стрессового ответа) автор представляет результаты изменения митотического индекса (МИ) в зависимости от дозы облучения гамма-квантами и протонами, представлены зависимость частоты цитогенетических нарушений в корневой меристеме ячменя от дозы гамма-облучения, облучения протонами, ионами  $^{12}\text{C}$  и изменение экспрессии генов стрессового ответа после действия ионизирующего излучения.

Полученные результаты получены с использованием достаточного количества материала, с применением современных методов исследования, обработаны общепринятыми методами статистического анализа. Научные положения, задачи, выводы и предложения обоснованы и вытекают из полученных результатов. Достоверность их не вызывает сомнений. Автором был проведен глубокий анализ зарубежной и отечественной литературы по теме работы.

Исследование Афониной С. О. охватывает все уровни организации и выстраивает цепочку взаимосвязанных эффектов в ответ на действие ионизирующего излучения.

**Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.** По материалам диссертации автором опубликовано 31 научная работа, среди которых учебное пособие (в трех частях) по дисциплине «Радиобиология» для высших учебных заведений и 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, а также индексируемых в Scopus и Web of Science.

**Оценка содержания диссертации, её завершенность в целом, замечания по оформлению.** Рукопись диссертации является завершенной научно-квалификационной работой, написана в традиционной форме, состоит из введения, обзора литературы, материалов исследований, собственных исследований, результатов и обсуждения, заключения, выводов, списка литературы, содержащего 197 источников, из которых 102 – иностранные. Список литературы составлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5 – 2008. Диссертационная работа изложена на 119 страницах компьютерного текста, иллюстрирована 3 таблицами и 49 рисунками. Основные результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на международных и региональных научно-практических конференциях.

Представленный в диссертации материал научной работы соответствует цели и задачам исследования, выводы и рекомендации аргументировано отражают ее основные научные положения, являются обоснованными и логично вытекают из результатов исследований.

Автореферат в полном объеме отражает основные результаты научного поиска.

При изучении работы Афониной С. О. принципиальных недочетов, снижающих ценность работы, не выявлено. В тексте присутствуют отдельные опечатки, неудачные речевые обороты.

В ходе ознакомления с работой возникли следующие замечания:

- количество выводов в диссертации должно соответствовать количеству поставленных задач. В идеале выводы должны представлять собой решение этих задач;

- в обзоре литературы необходимо шире использовать ссылки на научные работы современных отечественных и зарубежных авторов. Обычно рекомендуется использовать литературу, опубликованную не более чем за последние 5–10 лет. Кроме того, обзор литературы должен подтверждать отсутствие решения поставленной цели в мировой литературе, поэтому в списке литературы должны быть не только национальные, но и иностранные публикации.

Также получить ответы на возникшие вопросы:

1. Из чего исходили при выборе в качестве объектов исследования ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare L.*) трех районированных сортов: Витязь, Бадьорий и Ладны.

2. Каким образом учитывались сортовые отличия в радиочувствительности объектов исследований, которые обуславливаются генетической изменчивостью и/или различиях в сигнальных путях.

Поставленные вопросы и замечания не снижают научной ценности диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Афониной Светланы Олеговны на тему: «Оценка влияния редко- и плотноионизирующего излучения на морфологические, биохимические и генетические показатели пророщенных семян *Hordeum Vulgare L.*», является законченным научным трудом, в котором проведен анализ влияния редко- и плотноионизирующего излучения на морфологические, биохимические и генетические показатели ячменя обыкновенного.

Полученные автором данные дополняют научные сведения, имеющиеся в зарубежной и отечественной литературе.

Работа методически выдержана, соответствует современным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Основные научные результаты и рекомендации отражают содержание работы, характеризуются обоснованностью и репрезентативностью.

Рецензируемая диссертационная работа по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, а также по объему проведенных исследований соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор –

Афони́на Светла́на Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. Радиобиология.

Заведующий отделением  
радиобиологии  
ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»,  
доктор биологических наук

Подпись Вагина Константина  
Николаевича заверяю Ученый  
секретарь ФГБНУ «Федеральный  
центр токсикологической и  
радиационной безопасности»,  
кандидат биологических наук



Вагин Константин  
Николаевич



Зайнуллин Ленар  
Ильгизарович

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической  
безопасности»

Адрес: 420075, Республика Татарстан, город Казань, Научный городок, д.2  
Тел.: +7 843 239 53 20, +7 843 239 53 21; факс: +7(843) 239-71-73, 239-71-33  
e-mail: vnivi@mail.ru  
Сайт: <http://vnivi.ru/>