



ISSN 1818-8575

3 / 2018

ВЕСЦІ БДПУ



Серыя 3

ФІЗІКА

МАТЭМАТЫКА

ІНФАРМАТЫКА

БІЯЛОГІЯ

ГЕАГРАФІЯ

УДК 57.04:582.665.11

UDC 57.04:582.665.11

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В РАСТЕНИЯХ ГРЕЧИХИ ДИПЛОИДНОЙ

INFLUENCE OF LOW-INTENSITY ELECTROMAGNETIC RADIATION ON ACCUMULATION OF LOW-MOLECULAR ANTIOXIDANTS IN PLANTS OF DIPLOID BUCKWHEAT

Ж. Э. Мазец,

*кандидат биологических наук, доцент
кафедры общей биологии
и ботаники БГПУ;*

О. А. Суша,

*магистр по биологии,
аспирант кафедры
общей биологии
и ботаники БГПУ;*

С. Н. Шиш,

*магистр по биологии,
аспирант кафедры общей
биологии и ботаники БГПУ;*

Ж. Н. Калацкая,

*кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории роста и развития расте-
ний Государственного научного
учреждения «Институт эксперимен-
тальной ботаники им. В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси»;*

Т. В. Фролова,

*магистр по биологии, научный сотрудник
лаборатории роста и развития растений,
кандидат биологических наук, ведущий
научный сотрудник лаборатории роста
и развития растений Государственного
научного учреждения «Институт экспери-
ментальной ботаники им. В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси»;*

В. А. Карпович,

*кандидат физико-математических
наук, заведующий лабораторией
радиофизических исследований
НИУ «Институт
ядерных проблем» БГУ*

Zh. Mazets,

*PhD in Biology,
Associate Professor of the Department
of General Biology and Botany, BSPU;*

O. Susha,

*Master of Biology,
Post-Graduate Student
of the Department of General
Biology and Botany, BSPU;*

S. Shysh,

*Master of Biology, Researcher of the
Laboratory of Applied Biochemistry, Central
Botanical Garden of NAS of Belarus;*

J. Kalaskaja,

*PhD in Biology,
Leading Researcher
of the Laboratory of Growth
and Development of Plants, Institute
of Experimental
Botany named after V. Kuprevich,
NAS of Belarus;*

T. Frolova,

*Researcher
of the Laboratory
of Growth and Development
of Plants, Institute
of Experimental
Botany named
after V. Kuprevich,
NAS of Belarus;*

V. Karpovich,

*PhD in Physics and Mathematics,
Head of the Laboratory
of Radiophysical Research,
Institute of Nuclear
Problems, BSU*

В ходе исследования выявлены сортоспецифичные сдвиги в динамике накопления низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) – веществ фенольной природы, флавоноидов и пролина в листьях *Fagopyrum sagittatum Gilib* диплоидных сортов Купава, Аметист, Феникс под влиянием низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) в контролируемых и неконтролируемых условиях. Установлено, что снижение уровня НМАО под влиянием ЭМИ у растений гречихи посевной сортов Купава и Феникс сопровождалось торможением ростовых процессов, тогда как у сорта Аметист было отмечено повышение уровня пролина и стимуляция ростовых процессов. Выявлено, что наиболее существенные отклонения от контрольных значений уровня фенольных соединений и флавоноидов отмечены в фазу созревания. Сдвиги в уровне НМАО отразились на характере ростовых процессов, устойчивости изучаемых сортов. Полученные результаты раскрывают отдельные стороны механизма взаимодействия ЭМИ с растительными объектами.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение, гречиха посевная, фенольные соединения, флавоноиды, пролин, всхожесть, ростовые процессы.

A variety-specific shifts in the dynamics of accumulation of low molecular weight antioxidants (LMWA) such as phenolic substances, flavonoids and proline in the leaves of diploid varieties Kupava, Ametist, Phenix of *Fagopyrum sagittatum Gilib* under the influence of low-intensity electromagnetic radiation (EMR) in controlled and uncontrolled conditions were noted. It was found that a decrease under the influence of EMR in the level of LMWA in the buckwheat plants of Kupava and Phenix varieties was accompanied by inhibition of growth processes, whereas there was an increase in proline level and stimulation of growth processes in the plants of Ametist variety. It was found that the most significant deviations from the control values of the level of phenolic compounds and flavonoids were noted at the maturation phase. Shifts in the level of the LMWA have affected on the nature of the growth processes, the stability of the varieties under study. The obtained results reveal the individual aspects of the interaction mechanism of EMR with plant objects.

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation, buckwheat, phenolic compounds, flavonoids, proline, germination, growth processes.

Введение. Увеличение производства и урожайности сельскохозяйственной продукции в условиях Республики Беларусь является приоритетным направлением экономического развития нашей страны [1]. В последние годы в практику сельского хозяйства стали внедрять электротехнологические методы воздействия на растения и семена зерновых и овощных культур с целью их стимуляции – ускорения роста, повышения урожайности и улучшения качества получаемой продукции. На сегодняшний день физические способы предпосевной обработки могут рассматриваться в технологии промышленного возделывания как альтернатива традиционным химическим и биологическим методам обработки семян.

Данные по влиянию низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) на накопление низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО), таких, как свободный пролин и соединения фенольной природы, малочисленны [2–4], а природа взаимодействия ЭМИ с растительными объектами пока не ясна, что тормозит широкое использование электромагнитной обработки в сельскохозяйственном производстве. Поэтому целью данной работы является исследование влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на накопление НМАО в растениях гречихи диплоидной.

Гречиха обыкновенная, или посевная (*Fagopyrum sagittatum Gilib*), является основной крупяной культурой в Республике Беларусь. Однако посевные площади ее в Беларуси значительно снижаются и в 2016 г. составили всего лишь 11,4 тыс. га. Одной из причин этого является невысокая урожайность зерна, которая в среднем по республике не превышает 11,6 ц/га, по данным центрального статистического управления (ЦСУ). Для обеспечения населения республики гречневой крупой собственного производства хотя бы по минимальным медицинским нормам (6 кг крупы в год на человека) необходимо увеличить площади посева гречихи минимум до 35–40 тыс. га [5].

Объекты и методы исследования. Объектом исследования послужили диплоидные сорта (с.) гречихи посевной из коллекции Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию: Аметист, Феникс и Купава.

Семена гречихи обыкновенной (*Fagopyrum sagittatum gilib*) этих сортов были обработаны при частоте обработки 64–66 Гц следующими режимами (Р) ЭМИ: Режим 2 (время обработки 20 минут) и Режим 2.1 (время обработки 12 минут). В качестве контроля служили необработанные семена. Исследование проводилось в 2 этапа. Первый этап включал лабораторный опыт (контролируемые условия), второй – полевой мелкоделяночный опыт (неконтролируемые условия) на базе

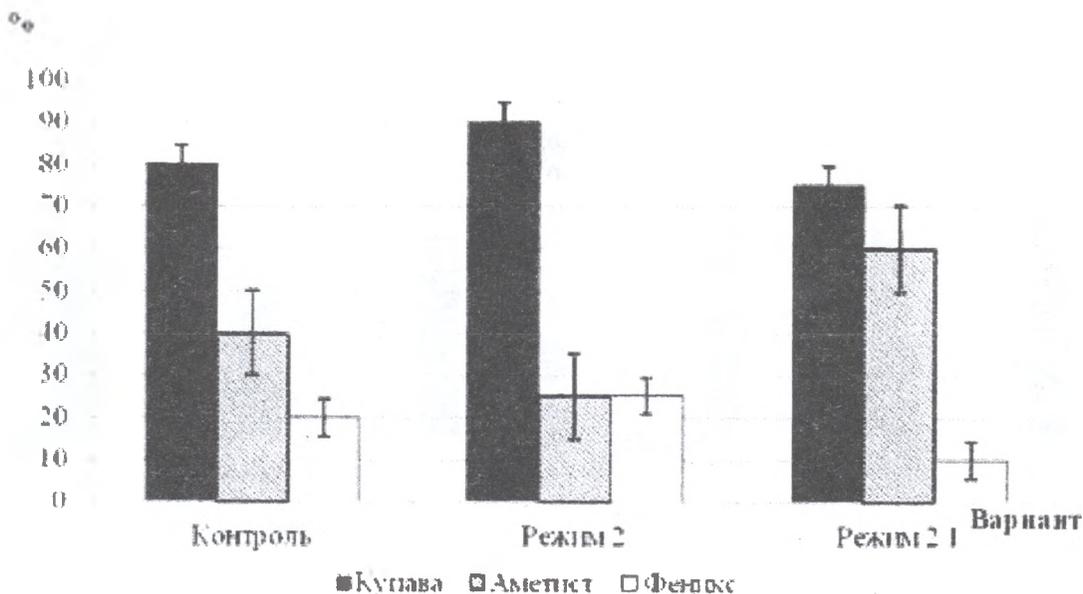


Рисунок 1 – Влияние ЭМИ на всхожесть семян диплоидных сортов *Fagopyrum sagittatum* Gilib

агробиостанции «Зеленое» в 2017 г. Специально было разработано опытное поле с дерново-подзолистой почвой с учетом агротехники возделывания данной культуры. В лабораторных условиях контрольные и обработанные семена проращивали в аппаратах Якобсена термостатах в темноте при температуре 22 °С до 7–8-дневных проростков.

Приготовление экстрактов всех исследуемых образцов проведено согласно Государственной фармакопее Республики Беларусь [6]. Общее содержание фенольных соединений (ФС) определяли с реактивом Фолина – Чокальтеу при длине волны 730 нм на спектрофотометре Agilent 8453 по методике, описанной в работах [7–9] с некоторыми модификациями. Расчет уровня ФС проведен по калибровочной кривой, в качестве стандарта для которой использована галловая кислота. Содержание ФС образцов выражали в виде эквивалента к галловой кислоте в г/100 г сухого веса (СВ).

Для определения флавоноидов (Фл) использовали стандартную методику, описанную А. И. Ермаковой [7; 9], с реактивом $AlCl_3$. Поглощение определяли с использованием спектрофотометра Agilent 8453 при длине волны 410 нм. Содержание флавоноидов было выражено как эквиваленты кверцетина в г/100г сухого веса.

Содержание свободного пролина определяли в листьях гречихи с помощью кислого нингидринового реактива по методу Бейтса с соавторами [10]. Интенсивность окраски измеряли на спектрофотометре СФ-46 при длине волны 517 нм против толуола.

Измерение проводили в нескольких (не менее трех) биологических и аналитических повторностях.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования было выявлено, что под влиянием P2 наблюдается увеличение всхожести в условиях лабораторного опыта на 10 % (с. Купава), а под воздействием P2.1 на 20 % (с. Аметист) (рисунок 1). Отмечено, что P2.1 снижал данный показатель на 10 % в случае с. Феникс и 5 % у сорта Купава, а P2 – на 15 % у сорта Аметист.

Обработка ЭМИ оказывала существенное стимулирующее действие на длину и массу проростков в случае P2.1 (с. Аметист) на 73 % и 66 % соответственно (рисунок 2). P2 тормозил незначительно (на 7,5 %) ростовые процессы у сорта Купава и сорта Аметист, но заметно угнетал их у сорта Феникс – на 51,6 % длину и на 42,9 % массу проростков.

Устойчивость растений к окислительному стрессу в норме и патологии регулируется системой гомеостаза, включающей в себя комплекс биоантиоксидантов [11; 12]. Фенольные соединения являются важным звеном антиоксидантной системы организма. Их содержание определяется видом растения, а также условиями произрастания, а значит, ФС являются маркерами стрессовых состояний у растений [13].

Соединения фенольной природы играют активную роль в самых различных физиологических процессах – фотосинтезе, дыхании, росте, защитных реакциях [14]. Самая крупная группа соединений фенольной природы – это флавоноиды. В настоящее время

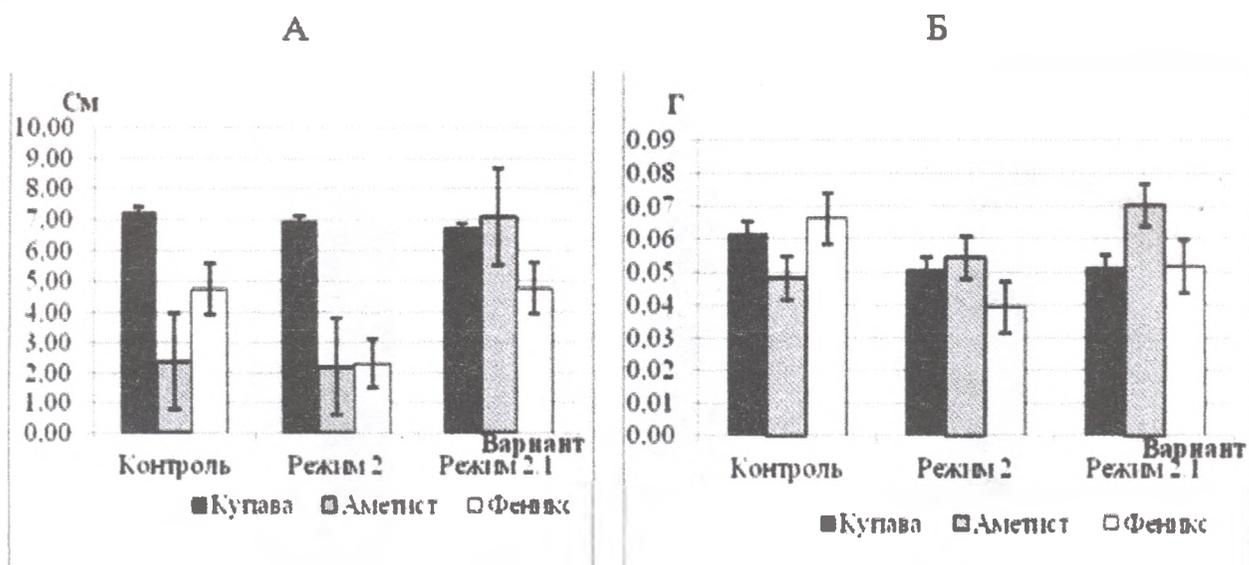


Рисунок 2 – Влияние режимов ЭМИ на длину (А) и массу (Б) 7-дневных проростков диплоидных сортов гречихи обыкновенной

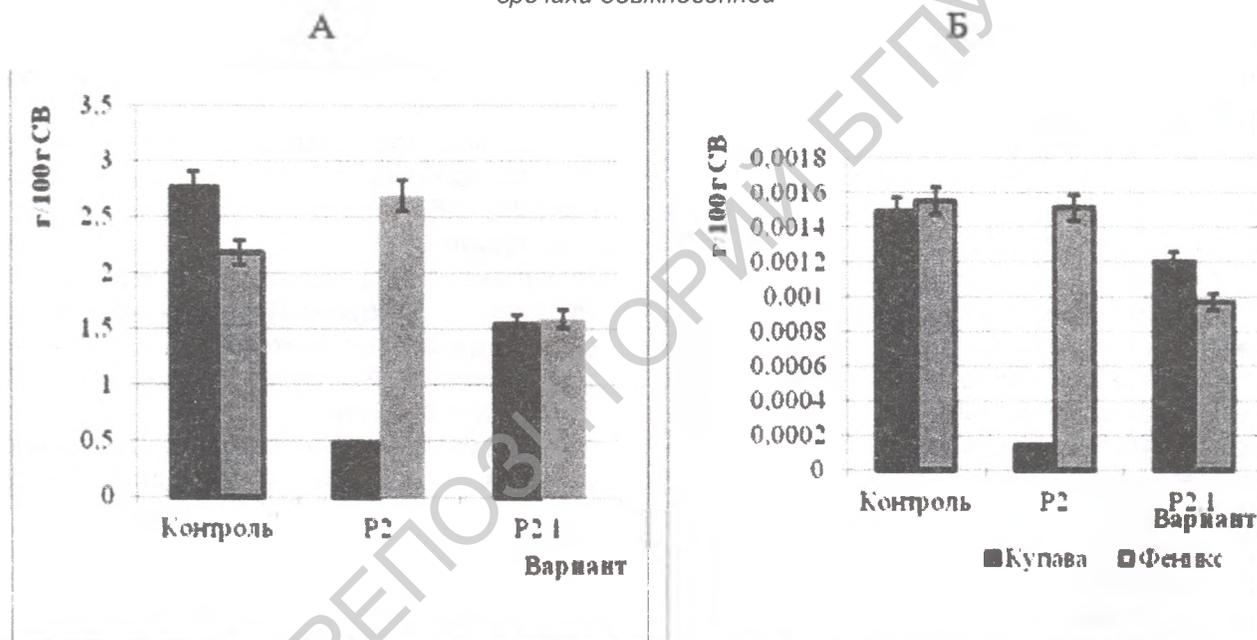


Рисунок 3 – Особенности накопления соединений фенольной природы (А) и флавоноидов (Б) в 7-дневных проростках гречихи посевной сортов Купава и Феникс

общепризнаны три направления антиоксидантного действия флавоноидов в биологических системах [15]: реакции с биорадикалами (антирадикальное действие); связывание металлов с переменной валентностью (хелатирующее действие) и ингибирование прооксидантных ферментов. Поэтому значимым представлялось изучение взаимодействия ЭМИ с данными компонентами антиоксидантного комплекса.

В ходе исследований отмечено, что P2.1 снижал в 7-дневных проростках уровень соединений фенольной природы у сорта Купава (44,2 %) и Феникс (27 %), а также флавоноидов на 19,5 и 37 % соответственно (рисунок 3). Выявлена разнонаправленная

реакция сортов на воздействие P2. Так, у сорта Купава уровень ФС падал существенно (на 83 %), тогда как у сорта Феникс возрастал на 23 % (рисунок 3А). Аналогичная картина резкого падения Фл отмечена у сорта Купава (90,6 %), тогда как у сорта Феникс данный показатель отклонялся не существенно (рисунок 3Б).

«Неспециализированные» антиоксиданты – таким словосочетанием условно можно обозначить большую группу низкомолекулярных соединений, для которых антиоксидантная функция не является основной. Тем не менее эти соединения могут проявлять явно выраженные антиоксидантные свойства. В растительных клетках такими соеди-

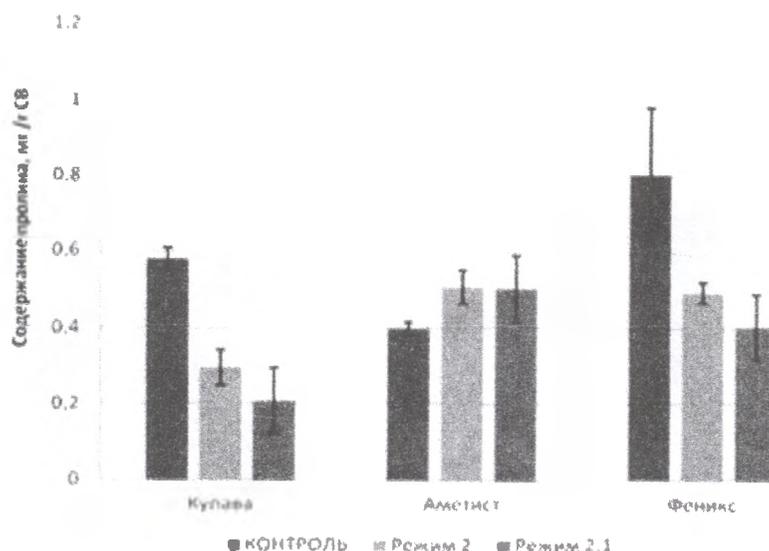


Рисунок 4 – Влияние режимов ЭМИ на накопление пролина в 8-дневных проростках гречихи посевной сортов Купава, Аметист, Феникс

нениями являются пролин и некоторые другие аминокислоты, полиамины, сахара и пр. Пролин может образовывать устойчивый радикал, поскольку содержит третичный углеродный атом. Предполагается, что образование такого устойчивого радикала приводит к «тушению» или обрыву каскада свободно-радикальных реакций, запускаемых не только гидроксил-радикалом, но и супероксидным радикалом [16]. Кроме того, пролин способен и к окислению с разрывом пиррольного кольца и образованием лактонов. Также сообщается о способности пролина выступать в роли эффективного «тушителя» синглетного кислорода [17]. Все это рассматривается как свидетельство антиоксидантных функций пролина [16]. Поэтому актуальным было изучение влияния режимов ЭМИ на динамику накопления пролина.

Под влиянием P2 ЭМИ отмечено повышение содержания пролина на 26 % у с. Аметист, тогда как у сортов Купава и Феникс выявлено существенное снижение накопления данного НМАО. Наиболее значительное падение уровня пролина отмечено под влиянием P2.1 на 65,5 % (сорт Купава) и на 50,0 % (сорт Феникс) (рисунок 4).

Полученные в контролируемых лабораторных экспериментах результаты по влиянию режимов ЭМИ на содержание НМАО в 7–8-дневных проростках гречихи посевной трех сортов и иные сдвиги в метаболических процессах [19; 20] синхронизировались с изменением характера роста опытных растений. Так, снижение уровня НМАО (ФС, Фл и пролина) у растений гречихи посевной сортов Купава и Феникс сопровождалось тор-

можением ростовых процессов у этих сортов, тогда как у сорта Аметист было отмечено повышение уровня пролина и стимуляция ростовых процессов.

Поэтому интересным представлялось исследование, направленное на выяснение влияния режимов ЭМИ на динамику накопления НМАО в листьях гречихи посевной в полевых условиях в наиболее уязвимые для формирования элементов продуктивности этапы онтогенеза: фаза начала цветения и созревания семян.

В ходе анализа влияния режимов ЭМИ на динамику накопления ФС у диплоидных сортов гречихи посевной с. Купава, Феникс и Аметист в листьях в условиях полевого опыта 2017 года (рисунок 5) установлена сортоспецифичная реакция на режимы ЭМИ по накоплению ФС. Выявлено, что в фазу начала цветения наиболее высокий тормозящий эффект на уровень ФС был отмечен под влиянием P2.1 (рисунок 5А): минимальное снижение уровня данных вторичных метаболитов – у с. Купава (6,8 %) и максимальное – у с. Феникс (82 %). Выявлено, что P2 в эту же фазу практически не влиял на уровень ФС у с. Купава, но повышал их количество у с. Аметист (18,5 %) и с. Феникс (27,5 %).

Отмечены сдвиги в базовом уровне ФС в фазу созревания по сравнению с ранее обсуждаемым этапом – у всех трех сортов к концу вегетации количество данных метаболитов снижалось (рисунок 5Б). Изменился и характер влияния режимов ЭМИ на содержание ФС. Так, P2 (на 78%) и P2.1 (на 54,2 %) повышали уровень ФС у с. Купава. У с. Аметист P2 снижал содержание ФС на 70 %, у с. Феникс на 50 %.

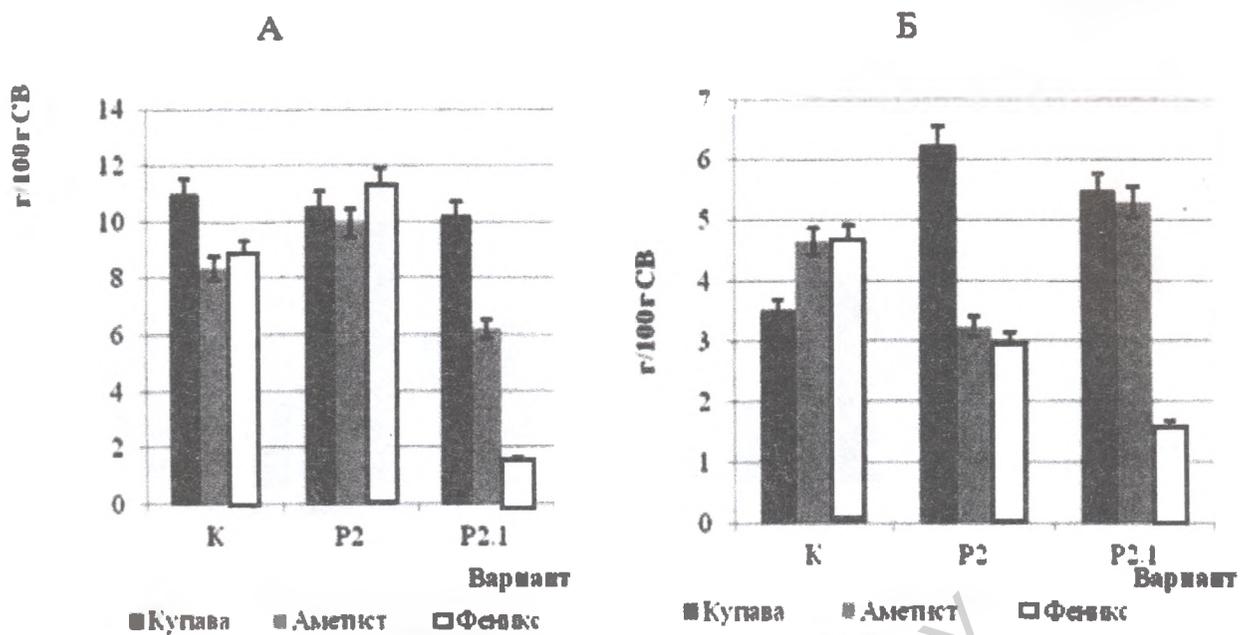


Рисунок 5 – Влияние режимов ЭМИ на накопление соединений фенольной природы в растениях гречихи посевной: в фазу начала цветения (А) и созревания (Б)

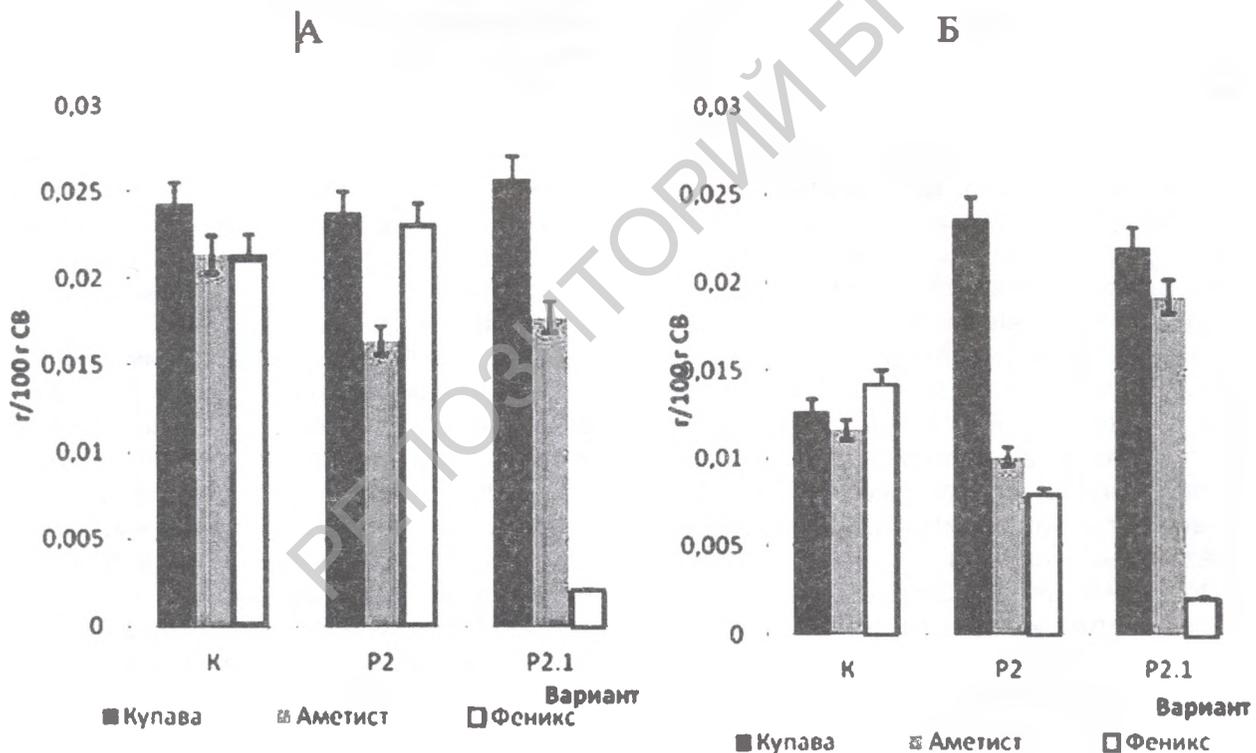


Рисунок 6 – Влияние режимов ЭМИ на динамику накопления флавоноидов у диплоидных сортов гречихи посевной в фазу начала цветения (А) и спелости (Б)

а P2.1 – повышал на 14 %. У с.Феникс оба режима снижали количество ФС от 35,7 % (P2) до 66 % (P2.1) относительно контроля. Таким образом, наиболее существенные отклонения от контрольных значений уровня ФС отмечены в фазу созревания.

При анализе влияния режимов ЭМИ на накопление Фл в листьях гречихи в условиях полевого опыта установлено, что наиболее существенные отклонения по данной группе

вторичных метаболитов отмечены также в фазу созревания (рис.6). В фазу начала цветения уровень Фл повышался незначительно: на 5,8 % у с. Купава (P2.1) и на 8 % у с. Феникс (P2) (рисунок 6А). В остальных случаях в эту фазу количество Фл падало относительно контроля от 23,4 % у с. Аметист (P2) до 90,6 % у с. Феникс (P2.1).

Динамика накопления Фл к фазе созревания менялась. Так, базовый уровень Фл сни-

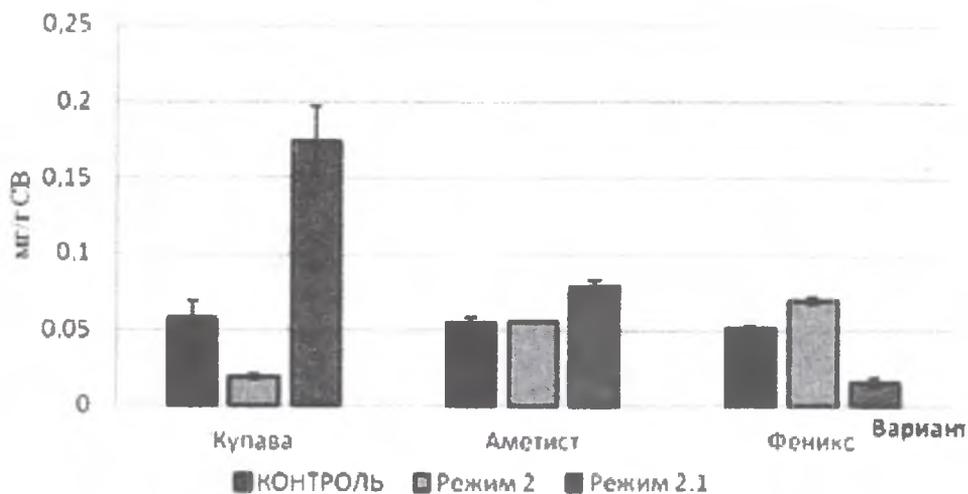


Рисунок 7 – Влияние режимов ЭМИ на накопления пролина в листьях растений диплоидной гречихи сортов Купава, Аметист и Феникс в фазу начала цветения

жался более чем в 2 раза по сравнению с фазой цветения (рисунок 6Б), что не противоречит общей концепции динамики накопления вторичных метаболитов [18]. Отмечено, что у с. Купава к концу вегетации возросло относительно контроля содержание Фл на 86,2 % (P2) и 73 % (P2.1). У с. Аметист на 13 % падало количество Фл под влиянием P2 и росло на 68,2 % (P2.1). У с. Феникс с уменьшением времени воздействия режимов ЭМИ от 20 до 12 мин тормозилось накопление данных метаболитов по сравнению с контролем от 44,6 % (P2) до 84,5 % (P2.1).

Анализ влияния режимов ЭМИ на уровень еще одного НМАО – пролина в листьях гречихи в фазу начала цветения показал наличие существенных отклонений от контрольных значений под влиянием P2.1 у всех изучаемых сортов. Так, под влиянием P2.1 у с. Купава содержание данной аминокислоты возросло в 3 раза, у с. Аметист на 44,4 %, а у

с. Феникс – резко упало на 70,6 % (рисунок 7). P2 на 32 % снижал содержание пролина у с. Купава, а у с. Феникс повышал на 39,2 %.

В ходе исследований установлено, что под влиянием ЭМИ P2 и P2.1 высота растений с. Купава возросла на 10 и 14 % соответственно относительно контроля. Отмечено, что у с. Аметист и Феникс высота растений после воздействия ЭМИ осталась на уровне контрольных значений (рисунок 8).

Заключение. Таким образом, в ходе исследования выявлены сортоспецифичные сдвиги в динамике накопления низкомолекулярных антиоксидантов – веществ фенольной природы, флавоноидов и пролина в листьях гречихи посевной диплоидных сортов под влиянием низкоинтенсивного электромагнитного излучения в контролируемых и неконтролируемых условиях. Установлено, что наиболее существенные отклонения от контрольных значений по большей части об-

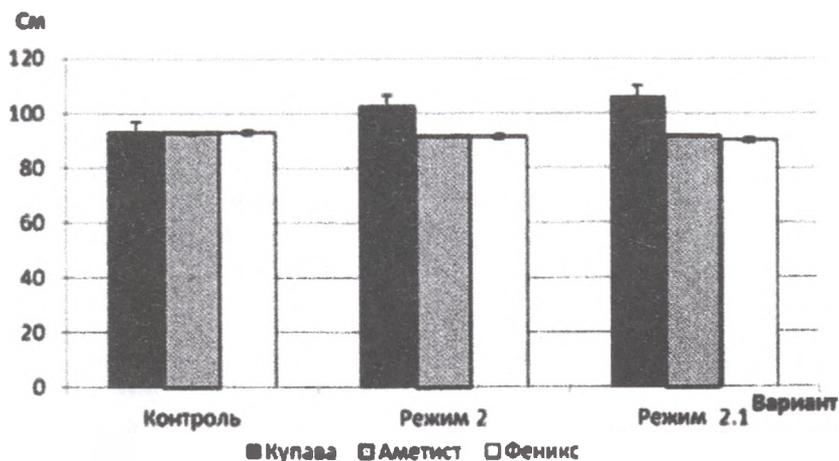


Рисунок 8 – Высота надземных побегов диплоидной гречихи к концу вегетации под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ в условиях полевого опыта

суждаемых параметров у сортов Купава, Аметист и Феникс вызывал P2.1, характеризующийся меньшим временем воздействия, чем P2. Отмеченные сдвиги в уровне НМАО сопровождались изменениями в характере ростовых процессов, устойчивости изучаемых сортов. Известно, что в семенах после обработки ЭМИ происходят структурно-функциональные перестройки мембранных образований и макромолекул, сопровождающиеся повышением проницаемости семенных оболочек, ускорением поступления воды

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние электромагнитного и плазменного воздействия на рост и развитие *Calendula officinales* L. / С. Н. Сазонова [и др.] // Весті БДПУ. Сер. 3. – 2012. – № 1. – С. 3–10.
2. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на низкомолекулярные антиоксиданты в ювенильных растениях *Calendula officinalis* L. / С. Н. Шиш [и др.] // Биотехнология: достижения и перспективы развития: сборник материалов II международной научно-практической конференции, Пинск, 7–8 декабря 2017 г. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.]; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2017. – С. 49–51.
3. Суша, О. А. Влияние электромагнитного воздействия на физиолого-биохимические процессы и продуктивность гречихи диплоидной / О. А. Суша, Ж. Э. Мазец // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции. – Гродно : ГГАУ, 2017. – С. 329–330.
4. Шиш, С. Н. Эффективность водной и водно-спиртовой экстракции сырья календулы лекарственной при использовании различных видов предпосевного воздействия / С. Н. Шиш, А. Г. Шутова, Ж. Э. Мазец // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – № 6. – Т. 20. – 2017. – С. 3–8.
5. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/a2a79b4c2e716d60.html>. – Дата доступа: 04.02.2018.
6. Государственная фармакопея Республики Беларусь: в 3 т. – Т. 2. – 2008. – 381 с.
7. Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков. – Ленинград : ВО «Агроиздат», 1987. – 331 с.
8. Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.) / M. Wang [et al.] // J. of agricultura and food chemictry. – № 3. – 2003. – P. 601–608.
9. Мазец, Ж. Э. Физиология растений: учеб.-метод. пособие : в 2 ч. / Ж. Э. Мазец, С. В. Судейная, Е. Р. Грицкевич. – Минск : БГПУ, 2010. – Ч. 2. – С. 62–64.

и кислорода в семена, в результате чего в растениях возникает широкий спектр физиолого-биохимических изменений [19; 20]. Полученные результаты раскрывают отдельные стороны механизма взаимодействия ЭМИ с растительными объектами.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории радиофизических исследований НИУ «Института ядерных проблем» БГУ : ведущего научного сотрудника, к.ф.-м. наук В. Н. Родионову и научного сотрудника Н. В. Пушкину за обработку семян.

REFERENCES

1. Vliyanie elektromagnitnogo i plazmennogo vozdeystviya na rost i razvitiye *Salendula officinales* L. / S. N. Sazonova [i dr.] // Vestsi BDP. Ser. 3. – 2012. – № 1. – S. 3–10.
2. Vliyanie nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya na nizkomolekulyarnyye antioksidanty v yuvenilnykh rasteniyakh *Calendula officinalis* L. / S. N. Shish [i dr.] // Biotekhnologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya: sbornik materialov II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Pinsk, 7–8 dekabrnya 2017 g. / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus [i dr.]; redkol.: K. K. Shebeko [i dr.]. – Pinsk : PolesGU, 2017. – S. 49–51.
3. *Susha, O. A. Vliyanie elektromagnitnogo vozdeystviya na fiziologo-biokhimiicheskiye protsessy i produktivnost grechikhii diploidnoy / O. A. Susha, Zh. E. Mazets // Sovremennyye tekhnologii selskokhozyaystvennogo proizvodstva: sbornik nauchnykh statey po materialam XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Grodno : GGAU, 2017. – S. 329–330.*
4. *Shish, S. N. Effektivnost vodnoy i vodno-spirtovoy ekstraktii syrya kalenduly lekarstvennoy pri ispolzovanii razlichnykh vidov predposevnogo vozdeystviya / S. N. Shish, A. G. Shutova, Zh. E. Mazets // Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii. – № 6. – T. 20. – 2017. – S. 3–8.*
5. *Ministerstvo selskogo khozyaystva i prodovolstviya Respubliki Belarus [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/a2a79b4c2e716d60.html>. – Data dostupa: 04.02.2018.*
6. *Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Belarus: v 3 t. – T. 2. – 2008. – 381 s.*
7. *Yermakov, A. I. Metody biokhimiicheskogo issledovaniya rasteniy / A. I. Yermakov. – Leningrad : VO «Agroizdat». – 1987, – 331 s.*
8. *Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (Cynara scolymus L.) / M. Wang [et al.] // J. of agricultura and food chemictry. – №3. – 2003. – P. 601–608.*
9. *Mazets, Zh. E. Fiziologiya rasteniy: ucheb.-metod. posobiye: v 2 ch. / Zh. E. Mazets, S. V. Sudeynaya, Ye. R. Gritskevich. – Minsk : BGPU, 2010. – Ch. 2. – S. 62–64.*

10. Bates, L. E. Rapid determination of free proline for water stress studies / L. E. Bates, R. P. Waldren, I. D. Teare // *Plant Soil*. – 1973 – V. 39. – P. 205–207.
11. Журавлев, А. И. Развитие идей Б. Н. Тарусова о роли цепных процессов в биологии / А. И. Журавлев // Труды Московского общества испытателей природы «Биоантиокислители в регуляции метаболизма в норме и патологии». – Т. LVII. – Москва: Наука. – 1982. – С. 3–36.
12. Колбас, Н. Ю. Антоциановый комплекс и антиоксидантная активность плодов некоторых представителей семейства розоцветные (Rosaceae Juss.): дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / Н. Ю. Колбас. – Минск, 2013. – 181 с.
13. Запроматов, М. Н. Физиология и биохимия флавоноидов / М. Н. Запроматов // Физиология растений. – 1993. – Т. 40. – № 6. – С. 921–931.
14. Manthey, J. A. Flavonoids in Cell Function / J. A. Manthey, B. S. Buslig. – Berlin: Springer, 2002. – P. 108–110.
15. Костюк, В. А. Биорадикалы и биоантиоксиданты / В. А. Костюк, А. И. Потапович. – Минск: БГУ, 2004. – 179 с.
16. Радюкина, Н. Л. Изучение индуцибельных и конститутивных механизмов устойчивости к солевому стрессу у гравилата городского / Н. Л. Радюкина, Ю. В. Иванов, А. В. Карташов // Физиология растений. – 2007. – Т. 54. – С. 692–698.
17. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance / P. B. K. Kishor [et al.] // *Current Sci*. – 2005. – V. 88. – P. 424–438.
18. Гордеева, Е. И. Иммуитет растений: учебное пособие / Е. И. Гордеева, А. В. Крюкова, З. И. Курбатова / Великие Луки. – 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ebs.rgazu.ru/db/Pravoobladateli/VGSHA/43.pdf> – Дата доступа: 03.01.2018.
19. Исследование физиологических эффектов низкоинтенсивного электромагнитного излучения на гречихе посевной / Ж. Э. Мазец [и др.] // Журн. Белорусск. гос. ун-та. Биология – 2017. – № 2 – С. 36–42.
20. Особенности предпосевного электромагнитного воздействия на отдельные физиолого-биохимические процессы *Leonurus Cardiacae* (L.) / Н. В. Пушкина [и др.] // Вести БГПУ, Сер. 3. – № 3 (73) – 2012. – С. 7–12.
10. Bates, L. E. Rapid determination of free proline for water stress studies / L. E. Bates, R. P. Waldren, I. D. Teare // *Plant Soil*. – 1973 – V. 39. – P. 205–207.
11. Zhuravlev, A. I. Razvitiye idey B. N. Tarusova o roli tsepnnykh protsessov v biologii / A. I. Zhuravlev // Trudy Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody «Bioantiokisliteli v regulyatsii metabolizma v norme i patologii». – T. LVII. – Moskva: Nauka. – 1982. – S. 3–36.
12. Kobas, N. Yu. Antotsianovyy kompleks i antioksidantnaya aktivnost plodov nekotorykh predstaviteley semeystva rozotsvetnyye (Rosaceae Juss.): dis. ... kand. biol. nauk: 03.01.05 / N. Yu. Kolbas. – Minsk, 2013. – 181 s.
13. Zaprometov, M. N. Fiziologiya i biokhimiya flavonoidov / M. N. Zaprometov // Fiziologiya rasteniy. – 1993. – T. 40. – № 6. – S. 921–931.
14. Manthey, J. A. Flavonoids in Cell Function / J. A. Manthey, B. S. Buslig. – Berlin: Springer, 2002. – P. 108–110.
15. Kostyuk, V. A. Bioradikaly i bioantioksidanty / V. A. Kostyuk, A. I. Potapovich. – Minsk: BGU, 2004. – 179 s.
16. Radyukina, N. L. Izucheniye indutsibelnykh i konstitutivnykh mekhanizmov ustoychivosti k solevomu stressu u gravilata gorodskogo / N. L. Radyukina, Yu. V. Ivanov, A. V. Kartashov // Fiziologiya rasteniy. – 2007. – T. 54. – S. 692–698.
17. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance / P. B. K. Kishor [et al.] // *Current Sci*. – 2005. – V. 88. – P. 424–438.
18. Gordeyeva, Ye. I. Immunitet rasteniy: uchebnoye posobiye / Ye. I. Gordeyeva, A. V. Kryukova, Z. I. Kurbatova / Velikiye Luki. – 2011 [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ebs.rgazu.ru/db/Pravoobladateli/VGSHA/43.pdf> – Data dostupa: 03.01.2018.
19. Issledovaniye fiziologicheskikh effektov nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya na grechikhe posevnoy / Zh. E. Mazets [i dr.] // Zhurn. Belorussk. gos. un-ta. Biologiya – 2017. – № 2 – S. 36–42.
20. Osobennosti predposevnogo elektromagnitnogo vozdeystviya na otdelnyye fiziologo-biokhimicheskiye protsessy *Leonurus Cardiacae* (L.) / N. V. Pushkina [i dr.] // Vesti BGPU, Ser. 3. – № 3 (73) – 2012. – S. 7–12.