

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ СЕЛЬСКО-  
ХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ НА ПРЕДПОСЕВНОЕ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ  
НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗАOF AGRICULTURAL AND MEDICINAL  
PLANTS REACTION TO LOW-  
INTENSITY ELECTROMAGNETIC  
EFFECT IN THE EARLY STAGES  
OF ONTOGENESIS

*Ж. Э. Мазец, И. И. Жукова,  
С. Н. Шиш, А. Г. Шутова, К. Я. Кайзинович,  
Н. А. Еловская, О. А. Суша, Д. М. Суленко*

*Z. Mazets, I. Zhykova,  
S. Shish, A. Shytova, K. Kaizinovich,  
N. Elovskaya, O. Susha, D. Sulenko*

Статья посвящена изучению механизмов взаимодействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения с растительными объектами. Выявлены специфические изменения в анатомо-морфологической структуре покровов семян, в процессах набухания, проницаемости покровов семян, активности гидролитических ферментов, определившие изменения агрономических качеств семян и ростовых процессов сельскохозяйственных и лекарственных культур после предпосевного электромагнитного воздействия различными частотными режимами, производимыми в НИУ «Ядерных проблем БГУ». Установленные сдвиги в структуре покровов, проницаемости мембран и активности амилолитических ферментов могут расцениваться как проявление реакции растения на электромагнитное излучение СВЧ-диапазона, приводящее к изменению процессов прорастания, определяющие посевные качества семян и продуктивность растений.

The article is devoted to the study of the mechanisms of interaction of low-intensity electromagnetic radiation with plant objects. Specific changes in the anatomical and morphological structure and permeability of seed's covers, processes of swelling, activity of hydrolytic enzymes, determined changes in the agronomic qualities of seeds and growth processes of agricultural and medicinal plants after pre-sowing by different frequency modes of low-intensity electromagnetic radiation produced in the Research Institute of Nuclear Problems of BSU were identified. Established changes in structure of seed's covers and membrane permeability, activity of amyolytic enzymes may be regarded as a manifestation of plant response to EMR microwave exposure, leading to intensification of the seed germination processes, determining sowing qualities and plant productivity.

Увеличение производства и повышение урожайности сельскохозяйственных и лекарственных культур является одним из приоритетных направлений хозяйственного развития Республики Беларусь. Однако потенциальные возможности этих растений используются далеко не полностью. Основными причинами, сдерживающими повышение урожайности, считается низкая всхожесть, высокая восприимчивость районированных сортов к болезням и вредителям, слабая энергия прорастания семян из-за их физиологического качества [1]. Для успешного преодоления отмеченных

недостатков необходимо использование современных высокоэффективных технологий предпосевной подготовки посевного материала, которые обеспечивают формирование здорового и устойчивого к стрессовым факторам растения, передачу сортовых признаков от поколения к поколению. В результате этого, во второй половине XX столетия получил развитие принципиально новый метод предпосевной подготовки семян, основанный на использовании энергии электромагнитных излучений и полей. Этот метод открывает возможности решения важных агроэкологических и социально-экономических проблем, направленных на дальнейшее увеличение производства продукции растениеводства, снижения энергозатрат, предотвращения загрязнения окружающей среды. Однако, несмотря на достоверно установленную биотропную активность электромагнитных полей, механизмы их стимулирующего или же ингибирующего действия на метаболизм клетки биологического объекта в настоящее время остаются малоизученными [2]. Поэтому представляют заметный интерес исследования по выявлению влияния ЭМИ на первичные процессы прорастания семян сельскохозяйственных и лекарственных культур, обусловленные изменениями в анатомо-морфологической структуре покровов и мембран, определяющие сдвиги в процессах их проницаемости, интенсивности процессов набухания, изменение активности гидролитических ферментов, а затем отражающиеся во всхожести и характере ростовых процессов.

Накопленный многолетний сельскохозяйственный опыт показывает, что полевая всхожесть и соответственно урожайность растений в значительной степени связана с особенностями строения семенных покровов семенного материала, определяющих эффективность набухания и прорастания их в почве после посева. Используя данные по морфо-анатомической структуре семян и сопоставляя их с особенностями протекания физиолого-биохимических процессов, происходящими при прорастании семян, мы можем уловить некоторую связь между структурными особенностями семян и отдельными физиолого-биохимическими процессами. Поэтому целью наших исследований было изучение причин формирования стимулирующих или ингибирующих эффектов сельскохозяйственных и лекарственных растений под влиянием внешнего микроволнового электромагнитного излучения (ЭМИ) низкой интенсивности.

В качестве объектов исследования были выбраны: люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) сорта Першацвет, Жодинский, Миртан, а также гречиха посевная (*Fagopyrum sagittatum gilib.*) диплоидная форма сорта Аметист и тетраплоидная форма Илия и календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.) сорта Махровый. Семена данных культур были обработаны тремя режимами электромагнитного воздействия СВЧ-диапазона –

режим 1 (54–78 ГГц); режим 2 и 3 (64–66 ГГц) – продолжительностью 20, 12 и 8 мин соответственно на базе НИУ «Ядерных проблем БГУ». Выбор режимов обусловлен ранее выполненными теоретическими и экспериментальными исследованиями взаимодействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения с биологической мембраной, которые подтвердили правильность выбранной в качестве объекта для электродинамического анализа модели структуры биологической мембраны [3].

### **Микроскопическое исследование состояния покровов семян**

Окрашивание покровов семян производили раствором красителя Нильского синего (Нильский синий для микроскопии FL72480, уп/10г (72480 Fluka Nile Blue A, Standard Fluka, indicator (pH 10.2-13.0), for microscopy (Bact., Hist., Vit.). Нильский синий в водных растворах диссоциирует на синюю соль (окрашивающую в синий цвет ядра и протоплазму клеток) и красное основание (растворимое в жирах). Эта краска неодинаково окрашивает жиры и различные жироподобные вещества: нейтральные жиры – в розовый цвет, фосфатиды и цереброзиды – в голубой, жирные кислоты и мыла – в темно-синий. Окраска имеет ориентировочное значение – позволяет разбираться в природе жировых веществ и служит дополнением к другим способам окраски. Она заслуживает внимания в тех случаях, когда нет возможности использовать для дифференцировки жиров и жироподобных веществ более совершенные способы, например, исследование в поляризованном свете. Применяется в микроскопии в качестве жирорастворимого красителя для выявления липидов. Реже применяется в качестве витального (прижизненного красителя) в разведении 1:1000. Готовили раствор красителя Нильского синего в 96 % этаноле (0,01 г на 1 мл). Непосредственно перед окрашиванием семян растворяли 100–600 мкл спиртового раствора красителя в 10 мл дистиллированной воды. Семена люпина, гречихи, календулы помещали в раствор на 18–20 ч. Затем семена промывали в дистиллированной воде, просушивали с помощью фильтровальной бумаги, готовили срезы с помощью лезвия и подвергали микроскопированию. При изготовлении временных препаратов срезы производились перпендикулярно через микропиле при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  и при комнатной температуре. Просмотр препаратов проводился на световом микроскопе Axioskop 2 plus (Carl Zeiss, Германия) с использованием объективов A-Plan 10x/0,25 и A-Plan 20x/0,45 (окуляр WPI 10x/23). Видимое изображение срезов, полученное в результате микроскопирования изготовленных препаратов, фиксировалось с помощью фотоаппарата Canon PowerShot G5 на цифровой носитель. Было проведено определение величины микроскопических изменений в структуре покровов семян при помощи окуляр-микрометра

и сделан пересчет размеров шкалы с учетом увеличения микроскопа. Повторность опыта 5–10-кратная.

**Проницаемость мембран для свободных нуклеотидов** определяли по методу, разработанному в Институте фотобиологии НАН Беларуси [4–6]. Для этого у 7-дневных проростков отсекали корни и брали навески подземной частей растения (0,5 г) в 4-х повторностях. Помещали навеску в стеклянные пробирки, промывали несколько раз дистиллированной водой и затем заливали 5 мл свежей порции дистиллированной воды. Навески растительной ткани инкубировали в течение часа при температуре 20 °С и 50 °С. Изменение проницаемости мембран для свободных нуклеотидов регистрировали по оптической плотности инкубационной среды на спектрофотометре Spесord-50 (Германия) при длине волны 260 нм [4; 5].

**Определение активности амилазы** проводили по модифицированному нами методу на основе методов Н. Н. Третьякова и А. И. Ермакова [7; 8].

Интенсивность процесса набухания оценивали через 1–2 часа в течение первых суток прорастания.

**Результаты и обсуждение** В литературе имеются отрывочные сведения по исследованию изменений, происходящих в покровных тканях прорастающих семян зернобобовых и лекарственных растений, обусловленных обработкой низкоинтенсивным электромагнитным излучением [1; 9; 10]. Изучение анатомического строения семенной оболочки семян бобовых культур, подвергнутых электромагнитной обработке (ЭМО), показало, что после воздействия верхняя световая линия либо растворялась (исчезала), либо передвигалась ближе к кутикуле. По-видимому, роль этой линии заключается в создании экранирующего защитного слоя, предотвращающего быстрое прорастание семян, так как твердость кожуры семян как эволюционно сформированный признак имеет важное биологическое значение, способствуя высокой выживаемости диких форм за счет синхронизации их жизненного цикла с условиями вегетации в экологических нишах произрастания. В процессе доместификации диких видов растений удается получить «мягкокожурные» семена, что является положительным хозяйственным признаком. Это обеспечивает быстрое и равномерное набухание семян, дружность и равномерность их всходов, высокую продуктивность посевов. Кроме того, в кожеуре семян после ЭМО отмечались изменения конфигурации и размера клеток гиподермы: их объем увеличивался, и они становились менее сжатыми, толщина клеточных оболочек уменьшалась. Отмечены изменения и в структуре многослойной паренхимы: все три ее слоя (первый, или наружный, – толстостенный паренхимный, второй (мелкоклеточный) – тонкостенный с проводящими пучками и третий – сходный



с первым, но более сильно сдавленный) становились более рыхлыми, стенки клеток – более тонкими, проницаемыми, толщина слоя увеличивалась. Обнаруженные изменения кожуры семян должны способствовать быстрому проникновению влаги и набуханию семян [1].

Накопленный многолетний опыт показывает, что снижение всхожести и урожайности бобовых культур в значительной степени связано с большой толщиной и твердостью кожуры семенного материала, затрудняющих его набухание и прорастание в почве после посева [1].

В связи с этим назрела необходимость более детально и на микроскопическом уровне изучить строение покровов и выявить интенсивность набухания семян нескольких белорусских сортов люпина узколистного: «Першацвет», «Жодинский». В ходе исследования скорости набухания семян было выявлено, что у сорта «Першацвет» активизация процесса набухания была отмечена под воздействием режима 1, а у сорта «Жодинский» – под воздействием режима 3. Однако все изменения были в пределах ошибки опыта [11].

Выполненные нами анатомические исследования, заключающиеся в получении поперечных срезов кожуры семени, позволили однозначно установить, что в результате воздействия низкоинтенсивным электромагнитным излучением происходят специфические изменения в анатомо-морфологической структуре покровов семян изучаемых сортов люпина узколистного.

В ходе детального микроскопического исследования мы убедились в том, что на поперечном срезе кожуры семени выделяют: кутикулу, палисадную ткань, световые линии, гиподерму и паренхимный слой. Самым верхним является кутикулярный слой (к), за которым следует слой палисадного эпидермиса (пл). Его клетки имеют удлиненную форму и довольно плотно упакованы. Поперек в нескольких местах данный слой разделяют так называемые световые полосы (с), между которыми, как предполагают, распределяются всевозможные дубильные вещества семени. Исследование показало, что после воздействия низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ-диапазона верхняя световая линия исчезала либо полностью, либо частично [1; 11]. Далее за палисадным эпидермисом следует слой клеток, который по форме напоминает «песочные часы» либо «восьмерку», – это гиподерма (г). Ее клетки имеют довольно утолщенные стенки, соприкасающиеся друг с другом лишь концами, в связи с чем между ними образуются большие межклетники. За гиподермой располагается толстостенный слой паренхимы (пр). Однако стоит отметить, что после ЭМО отмечались изменения в структуре данного слоя. Он становился более рыхлым и, как результат, более проницаемым для влаги [1; 12].

При микроскопическом анализе боковых срезов семенных покровов прорастающих 18 часов семян люпина узколистного сорта Першацвет нами

выявлено, что режим 1 анатомически не отличается от контроля, под влиянием режима 2 тоньше становится кутикулярный слой и более рыхлой упаковка паренхимных клеток, а верхняя световая линия становится фрагментарной. У семян, обработанных режимом 3, покровы характеризуются более тонким слоем кутикулы, более мощным слоем гиподермы относительно контроля.

При анализе среза через рубчик набухших семян люпина узколистного сорта Першацвет отмечена голубая окраска покровов у входа в микропиле, говорящая о том, что покровы здесь слабо проницаемы для молекул воды и состоят из фосфатидов и цереброзидов. Вода устремляется через микропиле, под которым в контроле обнаруживается небольшая воздушная полость, вероятно, образованная расхождением паренхимных клеток при набухании и увеличением межклеточного пространства и являющаяся эволюционным фактором, сдерживающим интенсивное набухание. У семян, обработанных тремя режимами, этой полости не выявлено, но просвет микропиле более узкий (рисунок 1) [11].

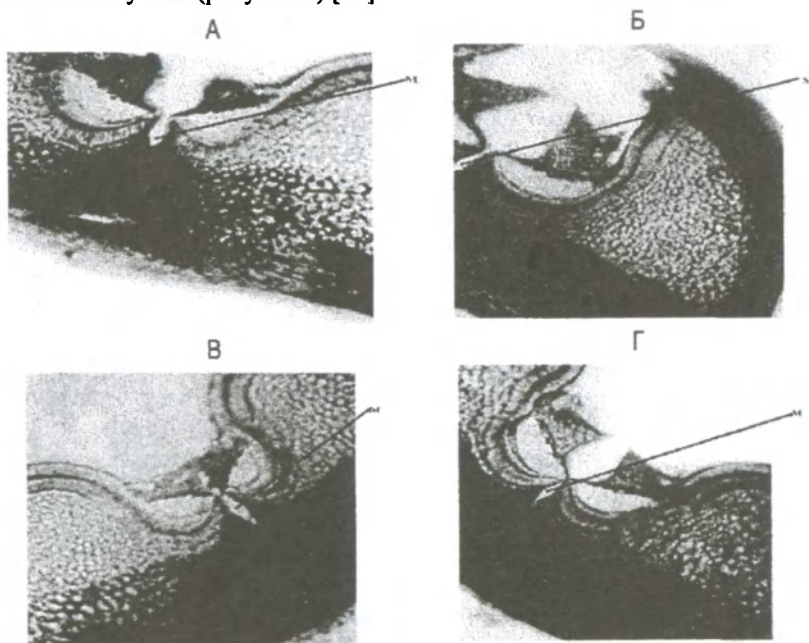


Рисунок 1 – Поперечный срез кожуры семени *Lupinus angustifolius* L. у сорта Першацвет через рубчик: м – микропиле, А – контроль, Б – режим 1, В – режим 2, Г – режим 3

Анализ бокового среза покровов люпина узколистного сорта Жодинский показал (рисунок 2), что в случае режима 1 световая линия становится фрагментарной, а слой гиподермы в отдельных местах – разряжен. При обработке режимом 2 отмечены значительные полости в паренхимном слое, а также отличается окраска среза относительно контроля, то есть темно-синий ее цвет обусловлен наличием гидрофобных жирных кислот, что сдерживает поступление воды. При воздействии режимом 3 обнаруживаются незначительные полости в паренхимном слое и менее интенсивная окраска клеток, свидетельствующая о том, что в нем содержатся менее гидрофобные вещества.

При оценке среза покровов семян сорта Жодинский, производимого через рубчик, отмечено, что в контроле имеется небольшая полость в паренхимном слое под входом в микропиле, а еще большая полость отмечена в случае режима 2. На таких же срезах семян, подвергшихся низкоинтенсивному электромагнитному воздействию режимами 1 и 3, данных полостей не выявлено. Однако имеются отличия в окраске покровов, что свидетельствует об изменениях в компонентном составе липидов, входящих в состав семенных покровов. Так, окраска среза режима 1 говорит о том, что на поверхности находятся нейтральные жиры, а у режима 3 – жирные кислоты, фосфатиды и цереброзиды.

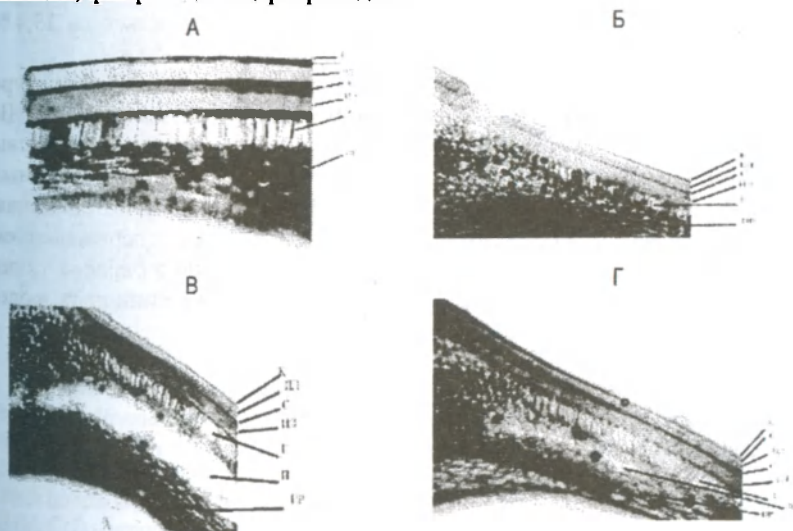


Рисунок 2 – Поперечный срез кожуры семени *Lupinus angustifolius* L. у сорта Жодинский с боковой стороны: А – контроль, Б – режим – 1, В – режим – 2, Г – режим – 3; к – кутикула, с – световая линия, пл – палисадная ткань, г – гиподерма, пр – паренхима, п – полости

Нами впервые было проведено определение величины микроскопических изменений после ЭМ воздействия в структуре покровов семян с помощью окуляр-микрометра. Был проведен пересчет размеров шкалы с учетом увеличения микроскопа. Повторность опыта 10-кратная.

В ходе исследований по выявлению влияния ЭМИ на семенные покровы люпина узколистного сорта Миртан установлено, что отдельные структуры (кутикула, световые линии) по величине слоя не изменяются, а также гиподерма за исключением режима 3, где ее значение возрастает на 40 % (рисунок 3 и таблица). Выявлены существенные количественные сдвиги в толщине слоев и расстояниями над, под и между частями фуникулуса (семяножки), а также от семяножки до устья трахейд. Так, отмечается снижение толщины наружного палисадного слоя при всех режимах воздействия: от 5,7 % (режим 3) до 15,1 % (режим 1). Аналогичная тенденция отмечается и в случае внутренней палисадной ткани, где максимальные различия установлены в случае режима 1 на 15,9 %. Наиболее значимыми отличиями характеризуются расстояния между частями фуникулуса, через которые в процессе набухания, поступает вода и кислород. Эти размеры существенно снижаются и, видимо, тормозят интенсивность процесса набухания, особенно в случае режимов 1 и 3. Расстояние от фуникулуса до устья трахейд – самый специфический показатель: не изменяется относительно контроля в случае режима 1, снижается на 7,2 % (режим 2) и возрастает на 13,4 % при воздействии режимом 3 [13].

В ходе исследований выявлены и качественные изменения в структуре покровов семян люпина узколистного сорта Миртан под влиянием ЭМИ (рисунок 3). Так, основные различия относительно контроля отмечены в толщине и интенсивности окраски слоя паренхимы. В случае изучаемых режимов ЭМИ толщина и окраска этого слоя более мощная и интенсивная. Это свидетельствует о более мощном гидрофобном слое, сдерживающем процессы набухания. Кроме того, отмечаются изменения в окраске ткани фуникулуса в случае режима 3, говорящие о перестройке липидных молекул и преобладании нейтральных жиров (рисунок 3 Г(1)).



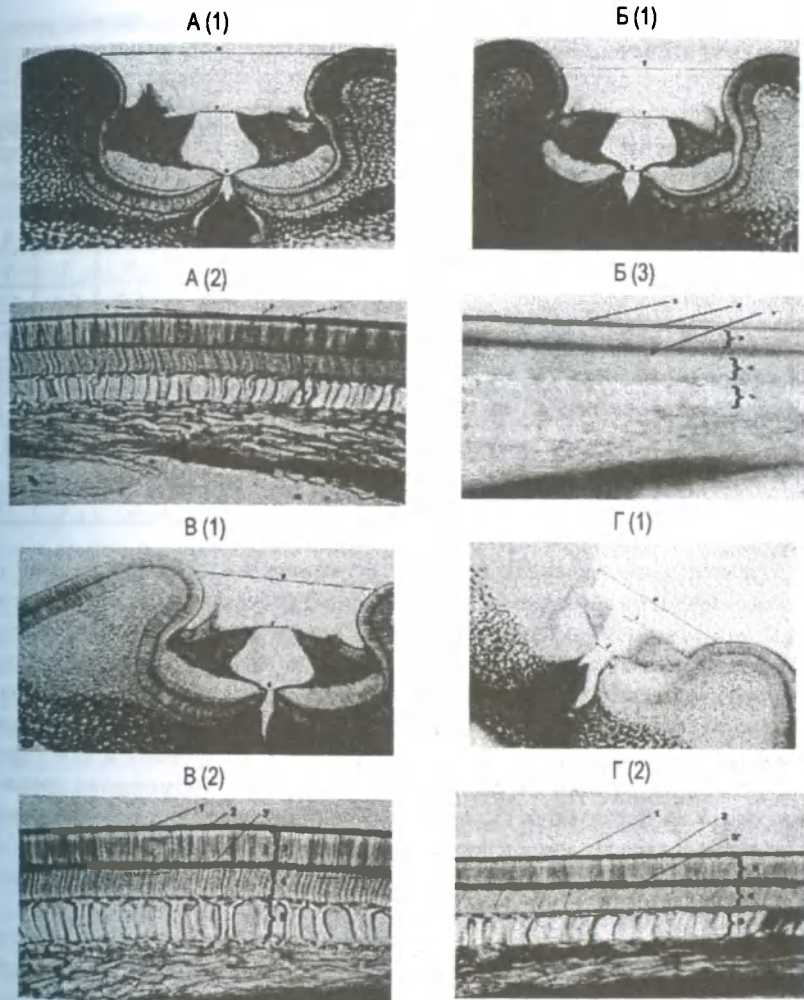


Рисунок 3 – Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на анатомо-морфологическую структуру покровов семян *Lupinus angustifolius* L. сорта *Мурта* : А (1), Б (1), В (1), Г (1) – зона рубчика (1, 2, 6 – расстояния выше и ниже фуникулуса; 9 – расстояние от фуникулуса до трахеид) в контроле и под влиянием режимов 1, 2 и 3 соответственно, А (2), Б (2), В (2), Г (2) – поперечный срез: 1 – кутикула, 2 – световая линия 1; 3 и 4 – палисадные слои; 5 – световая линия 2; 5 – слой клеток гиподермы в контроле и под влиянием режимов 1, 2 и 3 соответственно

Таблица – Влияние ЭМИ на линейные размеры покровов семян люпина узколистного сорта Миртан через 20 часов набухания (срез через рубчик)

№	Структуры семенных покровов	Длина, мкм			
		Контроль	P1	P2	P3
1	Кутикула	1	1	1	1
2	Световая линия	1	1	1	1
3	Талисадная ткань наружная	5,3	4,5	4,7	5
4	Световая линия 2-я	1	1	1	1
5	Талисадная ткань внутренняя	6,3	5,3	5,7	5,7
6	Гиподерма	6	6	6	7
7	Наружный размер складки, ограничивающий фуникулус	108	95	93,3	95
8	Расстояние между частями фуникулуса	11,7	0	10	8,7
9	Расстояние у входа в устье компактной группы трахеид (поперечный размер)	5	0	4	3
10	Расстояние от фуникулуса до устья трахеид	9,7	9,7	9	11

В зависимости от специфических особенностей семязачатка (числа и толщины интегументов, свойств проводящей системы, характера превращений интегументов во время созревания семени и др.) структура семенной кожуры может быть различна. Семенная кожура служит для защиты заключенного в семени зародыша, однако помимо того, что и защитная функция достаточно сложна и многообразна, у некоторых семян кожура, вероятно, влияет на прорастание, приурочивая его ко времени и условиям, наиболее благоприятным для развития проростка [14]. Торможение прорастания может быть связано с высокой степенью непроницаемости семенной кожуры для воды или для кислорода или для того или другого вместе. Такого рода эффект можно объяснить наличием кутикулярных слоев и их распределением.

Анализ микроскопического состояния покровов изучаемых сортов *Lupinus angustifolius* L. говорит о том, что появление небольших полостей в паренхимном слое клеток, вероятно, обусловлено эволюционными физиологическими процессами, сдерживающими интенсивное и быстрое набухание, что характерно для данного вида растений. Однако при воздействии режима 2, особенно у сорта Жодинский, выявлены значительные полости, заполненные воздухом, что заметным образом сдерживает поступление воды в семя, что подтверждается полученными нами данными по набуханию семян. В ходе исследований влияния ЭМИ на состояние покровов семян диплоидной и тетраплоидной гречихи установлено, что данная обработка

воздействует главным образом на липидный состав покровов. Так, семена, обработанные ЭМИ режимом 1, практически не отличаются от контрольных и характеризуются достаточно мощным гидрофобным слоем, тормозящим быстрое поглощение воды и набухание. Под влиянием режима 2 и режима 3 идут перестройки в составе липидов, видимо, вызванные перекисным их окислением под влиянием АФК, стимулируемых данным видом воздействия. В результате этого покровы становятся более проницаемы для воды, происходят сдвиги в транспорте веществ и скорости метаболизма данных растений на первичных этапах набухания. В благоприятных условиях это позитивно, так как ускоряет пробуждение семян и выход их из состояния покоя, повышает энергию прорастания и всхожесть. Однако при неблагоприятных условиях это делает их наиболее уязвимыми [13].

Основными параметрами, которые определяют характер воздействия ЭМИ на семена *Calendula officinalis*, являлись: глубина окрашивания слоев, толщина слоев и размеры полостей, отражающие микроскопическое строение и линейный размер боковых срезов оболочек семян. Анализ линейных размеров боковых срезов выявил меньшую глубину окрашивания покровов у семян, обработанных ЭМИ режимом 3, по сравнению с контролем (данные статистически достоверны при уровне значимости  $p \geq 0,001$ ). Режим 1 по глубине окрашивания семян практически не отличался от контроля (достоверно при уровне значимости  $p > 0,05$ ). Действие ЭМИ режимом 2 вызвало уменьшение кутикулярного слоя и более рыхлую упаковку паренхимных клеток, а верхняя световая линия становилась фрагментарной. У семян, обработанных ЭМИ режимами 2 и 3, происходило растяжение клеток и межклеточного пространства гиподермы относительно контроля [15].

Таким образом, конечный эффект влияния ЭМИ на семена во многом зависит от структурных перестроек в покровах и может служить диагностическим показателем оценки влияния электромагнитного излучения на растения. Эффективность излучения зависит от того, в какие условия попадет семя и начинает прорастать, то есть воздействуя на семена, мы должны только незначительно сдвигать эволюционно выработанные механизмы, связанные с наличием покровов: непроницаемых только для воды или непроницаемых и для воды, и кислорода.

Качественные и количественные сдвиги в состоянии семенных покровов не могли не отразиться на протекании других физиолого-биохимических процессов, особенно связанных с проницаемостью мембран. Функциональная активность клеточных мембран может быть оценена по степени выхода в окружающую среду низкомолекулярных метаболитов нуклеотидного обмена. В литературе имеются сведения, что выход низкомолекулярных нуклеотидов из клеток незначителен в норме и резко усиливается под

действием стрессовых факторов [16]. Ацидофицирующая активность корней является интегральным показателем уровня энергетического и ионного метаболизма, поскольку с работой протонных насосов связан трансмембранный перенос многих ионов органических веществ [17]. При экзогенных воздействиях физиологически активными веществами наблюдаются изменения функциональной активности белков мембранных АТФ-аз клеток корней, что в свою очередь изменяет скорость подкисления среды корневой системой [4]. В наших исследованиях установлено, что предпосевная обработка семян люпина узколистного с. Першацвет режимами 1 и 3 повышала (достоверно только в режиме 3) выход электролитов и подкисление среды по сравнению с контролем (рисунок 4).

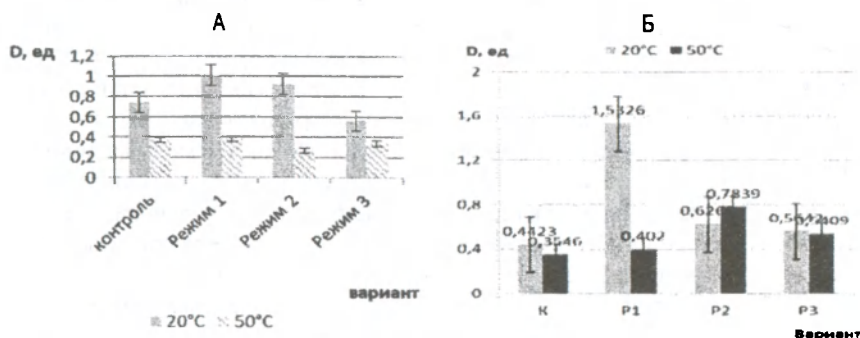
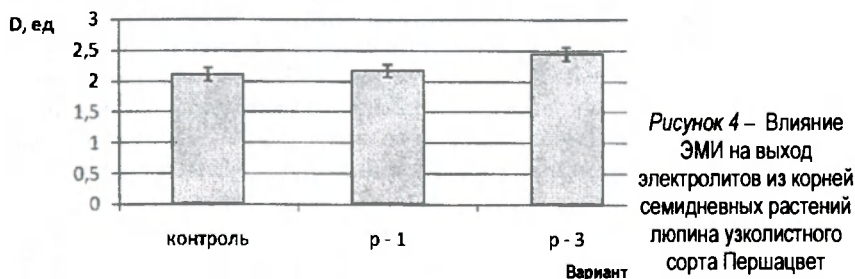


Рисунок 5 – Выход свободных нуклеотидов из семидневных корней диплоидной гречихи с. Аметист (А) и тетраплоидной гречихи с. Илия (Б), подвергнутых ЭМИ

Анализ влияния ЭМО на проницаемость мембран отрезков корней и листьев диплоидной гречихи сорта Аметист показал, что в нормальных условиях режимы 1 и 2 повышают выход нуклеотидов, а режим 3 снижает этот параметр относительно контроля в отрезках корней. В случае теплового шока (при 50 °С) в контроле и в вариантах опыта этот показатель снижается, что говорит о высокой стабильности мембран корней гречихи данного

сорта (рисунок 5 А). В ходе исследований выявлено, что повышенный выход нуклеотидов под влиянием изучаемых режимов ЭМИ дестабилизировал мембраны корней и проростков гречихи тетраплоидной, что, возможно, и привело к снижению посевных качеств семян данного сорта гречихи (рисунок 5 Б и рисунок 8).

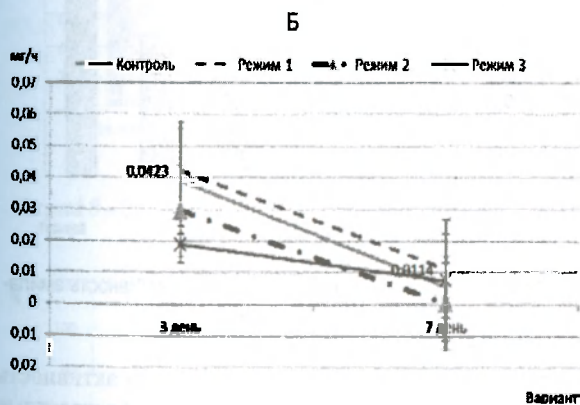
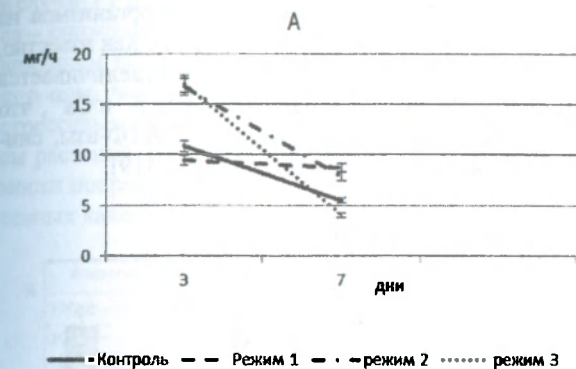


Рисунок 6 – Влияние ЭМИ на динамику активности амилазы у гречихи диплоидной с. Аметист (А) и тетраплоидной с. Илия (Б)

Изменения в параметрах проницаемости покровов под влиянием ЭМИ СВЧ-диапазона во многом влияют на активность гидролитических ферментов, определяющих накопление в клетках осмотически активных веществ, определяющих величину водного потенциала и интенсивность поступления воды и характер ростовых процессов изучаемых растений. К таким ферментам относится амилаза. Важная роль данного фермента в жизни растений заключается в том, что с его участием такое запасное органическое вещество, как



крахмал, из нетранспортабельной формы превращается с участием еще ряда ферментов в транспортные сахара, направляющиеся в точки роста [7; 18]. Кроме того, повышение активности амилазы при прорастании семян во многом характеризует интенсивность процессов «физиологического набухания», связанного с накоплением осмотиков в семенах [19]. В связи с этим заметный интерес представляет исследование активности фермента амилазы как маркера первичной стрессовой реакции растительных организмов на низкоинтенсивное электромагнитное излучение СВЧ-диапазона. Как известно, в ходе первичной индуктивной стрессовой реакции растений увеличивается проницаемость мембран, изменяется проницаемость к ионам  $K^+$  и  $Ca^{+2}$ , что приводит к деполяризации мембран, тормозится работа  $H^+$ -АТФ-азы, снижается рН цитоплазмы, способствующее активации гидролаз [19].

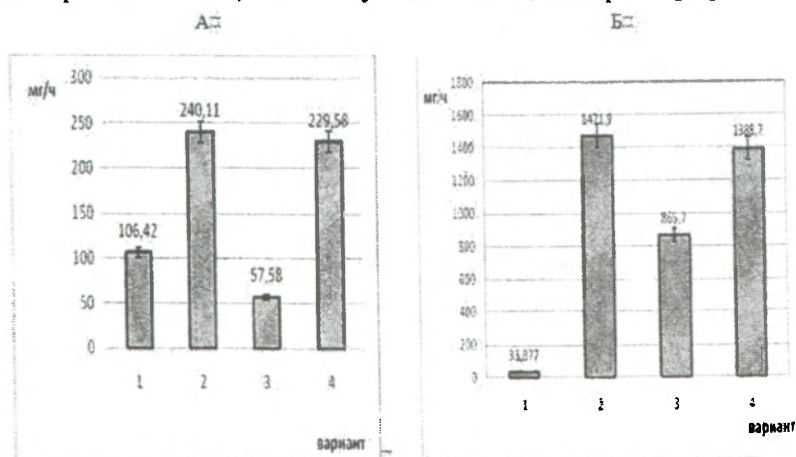


Рисунок 7 – Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на активность амилазы через 18 ч (А) и 72 ч (Б) набухания *Lupinus angustifolius* L.:  
1 – контроль, 2 – режим 1; 3 – режим 2; 4 – режим 3

Установлено видо- и сортоспецифическая влияние ЭМИ на активность амилазы в прорастающих семенах. Так, у растений наблюдаются возрастные сдвиги в активности гидролитических ферментов и ЭМИ накладывает отпечаток на их активность. Выявлено, что у диплоидной гречихи с. Аметист активность суммарной фракции фермента амилазы в трехдневных растениях выше, чем в семидневных в 2 раза (рисунок 6А). Отмечено, что режим 1 практически не влияет на активность фермента. Под влиянием режима 2 и режима 3 наблюдается тенденция к снижению активности амилазы в 2,1 и 4,1 раза соответственно к 7-му дню, хотя в трехдневном возрасте она на 54 % выше контрольных значений. У растений тетраплоидного сорта Илия

под влиянием режима 1 активность фермента повышается относительно контроля, а под влиянием режимов 3 и 2 наблюдается плавное снижение активности амилазы к 7-дневному возрасту, особенно существенное в случае режима 2 (рисунок 6Б). В ходе анализа влияния различных режимов ЭМИ на активность амилаз в семенах *Lupinus angustifolius* L. установлено увеличение активности данных гидролитических ферментов более чем в 2 раза в случае P1 и P3 и 45,9 % в случае P2 через 18 часов набухания, а спустя 72 часа – снижается активность у контрольных растений и резко возрастает под влиянием всех изучаемых режимов, особенно P1 и P3. Это свидетельствует о том, что изучаемые режимы (рисунок 7). ЭМИ являются пусковым стрессовым механизмом, изменяющим первичные метаболические процессы растений. Важным было оценить, как изменения в структуре, проницаемости покровов, активности гидролитических ферментов отразились на полевных качествах семян и ростовых процессах исследуемых культур.

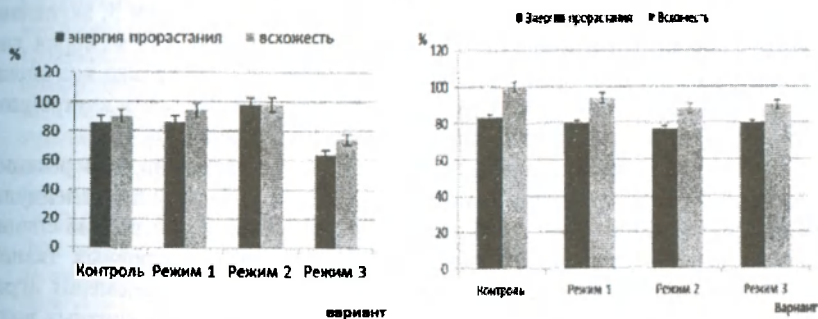


Рисунок 8 – Влияние ЭМИ на энергию прорастания и всхожесть диплоидной гречихи сорта Аметист (А) и тетраплоидной гречихи сорта Илия (Б)

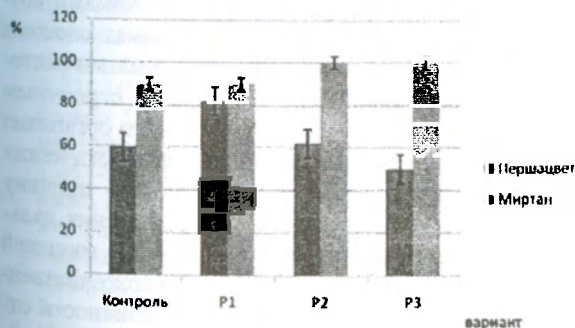


Рисунок 9 – Влияние ЭМИ на всхожесть *Lupinus angustifolius* L. сортов Першацвет и Миртан

В ходе исследований выявлено, что в результате ЭМИ воздействия повышается энергия прорастания и всхожесть диплоидной гречихи в режиме 2 на 12 %, режим 1 не влиял на энергию прорастания, но незначительно повышал всхожесть, а режим 3 – снижал изучаемые параметры относительно контроля (рисунок 8А). ЭМО практически не влияла на энергию прорастания тетраплоидной гречихи, но достоверно снижала показатели всхожести в случае режимов 2 и 3 (рисунок 8 Б).

Анализ влияния ЭМИ на всхожесть люпина узколистного с. Першацвет и Миртан показал, что у с. Першацвет режим 1 на 22 % повышал данный показатель, а режим 3 на 10 % снижал всхожесть (рисунок 9). Выявлено, что наиболее позитивно на всхожесть повлияли режимы 2 и 3 на с. Миртан (повысили на 10 %).

Итак, влияние ЭМО на проницаемость мембран и последующие ростовые процессы растений являются видо- и сортоспецифичными. Однако наиболее стрессогенным для изучаемых культур оказался режим 3, активизирующий процессы набухания и повышающий проницаемость мембран для свободных нуклеотидов. Здесь необходимо учитывать не только все внешние факторы, действующие наряду с ЭМО на растения, но и внутренние факторы, обусловленные особенностями самих растений [20].

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что реакция исследуемых сортов люпина узколистного, гречихи посевной и календулы лекарственной на изучаемые режимы воздействия была достаточно специфичной. Вероятно, различия в структуре и плотности покровных тканей растений (особенно семенные покровы), содержание воды в семенах играют важную роль в распространении и воздействии электромагнитных волн СВЧ-диапазона на физиологическую активность клеток и растительного организма в целом. В результате проведенного эксперимента была установлена избирательная реакция растений на обработку тремя режимами воздействия, различающимися по частоте и времени. Наблюдаемая сложная и неоднородная картина биологической и физиологической реакции растений на воздействие СВЧ-излучения объясняется тем, что за первичным прямым воздействием поля на молекулярные структуры живого организма следует сложная цепочка вторичных биохимических и физиологических процессов, приводящая к опосредованному отклику, истинную причину которого не всегда удается легко выявить, что требует проведения дальнейших исследований по выявлению первичных и вторичных мишеней СВЧ-излучения в растительном организме. Изучение сельскохозяйственных и лекарственных культур позволило выявить видоспецифичность ответных реакций на воздействие излучения. Тот или иной эффект воздействия излучения СВЧ-диапазона на данную культуру зависит от времени

экспозиции, частоты воздействия и восприимчивости этой культуры. Путем подбора параметров излучения представляется возможным направленно регулировать ростовые процессы растений в различных промышленных и сельскохозяйственных целях. Однако на различных организмах показано, что в зависимости от параметров СВЧ-излучение может оказывать как стимулирующее, так и угнетающее воздействие. Оперируя этим, можно предположить его неоднозначное влияние на высшие растения [1].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние высокочастотной электромагнитной обработки семенного материала зернобобовых культур на их посевные качества и продуктивность / В. В. Ажаронк [и др.] // Электронная обработка материалов. – № 4. – 2009. – С. 76–86.
2. Бинги, В. Н. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы / В. Н. Бинги, А. В. Савин // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 3. – С. 265–300.
3. Карпович, В. А., Родионова В. Н. Патент РБ №5580 Способ предпосевной обработки семян овощных или зерновых культур. Выд. 23.06.2003 г.
4. Кабашникова, Л. Ф. Способ ранней диагностики эффективности многокомпонентных капсулирующих составов для обработки семян: методические указания / Л. Ф. Кабашникова. – Минск, 2003. – 31 с.
5. Идентификация свободных нуклеотидов и их компонентов, выделяющихся из переплотнонных культур дрожжей / Г. В. Насонова [и др.] // Весці Акад. навук Беларусі Сер. біол. навук. – 1977. – № 6. – С. 57–58.
6. Lee P. C., Taylor A. G., Paine D. H. Sinapine leakage for dection of seed quality in Brassica // Basic and Applied Aspects of Seed Biology / Eds. R.H. Ellis, M. Black et al. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1997. – P. 537–545.
7. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков [и др.] – 4-е изд., переаб. и доп. – М.: КолосС, 2003. – 288 с.
8. Методы биохимических исследований растений / А. И. Ермаков [и др.]; под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. – 430 с.
9. Влияние низкочастотного магнитного поля на активность эстераз и изменение рН у зародыша в ходе набухания семян пшеницы / С. И. Аксенов [и др.] // Биофизика. – Т. 45. – С. 737–745.
10. Грунина, Т. Ю. Особенности влияния низкочастотного магнитного поля на набухание семян пшеницы на различных стадиях / Т. Ю. Грунина, С. Н. Горячев. – Биофизика. – Т. 46. – вып. 6. – 2001. – С. 1127–1132.
11. Мазец, Ж. Э. Первичные реакции растений *Lupinus angustifolius* L. на низкоинтенсивное электромагнитное воздействие / Ж. Э. Мазец [и др.] // Труды Белорусского Государственного Университета. – 2013. – Т. 8. – Ч. 2. – С. 90–95.
12. Майсурян, Н. А. Люпин / Н. А. Майсурян, А. И. Атабекова. – М.: Колос, 1974. – 463 с.
13. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на структуру покровов семян / Ж. Э. Мазец [и др.] // Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и се-

- лекции растений : сб. ст. Междунар. научн. конф. (Минск, 18–20 августа 2014). – С. 159–162.
14. Эзау, К. Анатомия семенных растений / К. Эзау; под ред. А. Л. Тахтаджана. – Кн. 2. – Мир: Москва, 1980. – С. 463–469.; Villiers T.A. Seed dormancy, chap. 3 // *Seed Biology*, Kozłowski T. T. ed. – New York, Academic Press, Vol. 2. – 1972. – P. 219–281.
  15. Шиш, С. Н. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкого уровня мощности на целостность семян календулы лекарственной / С. Н. Шиш // *Молодежь в науке*. – 2014: прил. к журн. «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». В 5 ч. Серия биологических наук / редкол. : М. Е. Никифоров, И. Д. Волотовский. – Минск: Беларуская навука. – Ч. 4. – 2015. – С. 135–139.
  16. О феномене самозащиты клеток от теплового повреждения / А. Н. Руденок и [др.] // *Докл. АН СССР*. – 1973. – Т. 4. – С. 977–981.
  17. Полевой, В. В. Физиология растений / В. В. Полевой. – М.: Высш. шк. – 1989. – 464 с.
  18. Бухарина, И. Л. Биохимия растений: учеб.-метод. пособие / И. Л. Бухарина, О. В. Любимова. – Ижевск: ФГОУВПО Ижевская ГСХА. – 2009. – С. 29.
  19. Растение и стресс: Курс лекций. – Екатеринбург, 2008. – 267 с.
  20. Мизун, Ю. В. Тайны будущего / Ю. В. Мизун, Ю. Г. Мизун. – М. : Вече, 2000.