

ГОРДЕЕВ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРЕДПОСЕВНОЙ БИОАКТИВАЦИИ СЕМЯН
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
ПОТОКОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

**ДОКЛАД
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук**

специальность 06.01.03 - агрофизика

Академик А. Ф. Иоффе с горечью писал, что «агрономы не знают физики, а физики не знают и не интересуются агротехникой». К сожалению, дисбаланс этих важнейших отраслей знания до сих пор остается не преодоленным.

профессор А.М. Гордеев

В начале XXI века развитие общества определяется поиском принципиально новых подходов при решении продовольственной проблемы, так как дальнейшая интенсификация возделывания с.-х. культур становится все более затратной и менее эффективной, обеспечивает все меньшие прибавки урожая и приводит к загрязнению окружающей среды. В дальнейшем традиционные технологии не смогут обеспечить продовольствием все население планеты.

В последние десятилетия активно ведется поиск физиологических, биохимических и биофизических приемов и технологий, направленных на реализацию генетического потенциала, повышения неспецифической устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам, усиления адаптивного потенциала растений с целью роста и стабилизации урожая.

В новом тысячелетии придется в большей мере учитывать действие изменений климата и другие проблемы, приводящие к новым стрессовым воздействиям на живые организмы. В таких условиях обеспечить высокий рост с.-х. продукции позволит перевод технологий возделывания с.-х. культур на качественно новый уровень.

Сегодня уже не вызывает сомнения эффективность и целесообразность применения физических способов стимулирования роста и развития растений. Разработаны многочисленные приемы предпосевной обработки семян, с помощью ионизирующей радиации в малых дозах, звуковой, ударно-волновой и тепловой обработки, экспонирования в электрических и магнитных полях, лазерного, УФ и ИК-облучения и т.д. Эти физические воздействия гарантированно увеличивают всхожесть семян и урожайность на 15-25%.

Особый вклад в этот вопрос внесли ведущие российские ученые А.М. Кузин, А.П. Дубров, Н.Ф. Батыгин, В.Н. Савин, М.В. Архипов, А.А. Шахов, В.М. Инюшин и многие другие, которые доказали, что семена после обработки имеют большой энергетический биопотенциал, в них происходят структурно-функциональные перестройки мембранных образований и макромолекул, в результате чего в растениях возникает широкий спектр положительных физиологических изменений.

Следует отметить, что воздействие на семена искусственно созданной плазмой близко по своей природе к солнечному свету, а в качестве объекта для плазменной биоактивации используются биологические системы из которых формируется растительный организм.

Именно поэтому одним из перспективных способов воздействия на органические и неорганические структуры является излучения плазмы. Новые плазменные технологии наряду с использованием традиционных способов в дальнейшем станут важнейшим направлением в современном АПК, так как позволят разработать способы управления активными системами и организмами с применением слабых и сверхслабых физических полей и излучений.

Цель работы.

Разработка методологических и агробиологических основ предпосевной биоактивации семян с.-х. культур потоком низкотемпературной плазмы.

Задачи исследований:

1. Обобщить агробиологические особенности действия (*биоактивации*) электромагнитных излучений различного спектрального диапазона, с точки зрения современной теории влияния внешних стрессоров (неблагоприятных факторов среды) на семена и растения;
2. Проанализировать и обосновать биофизические и физиологические механизмы биоактивации при действии плазменных излучений на семена с.-х. культур;
3. Создать плазмотроны специального назначения и оценить их конструктивные особенности для решения научных и практических задач агрофизики в современном сельскохозяйственном производстве;
4. Разработать научное обоснование технологий предпосевной биоактивации семян важнейших с.-х. культур потоком низкотемпературной плазмы;
5. Провести испытания плазменных технологий в лабораторных, полевых и производственных условиях на разных культурах и в разных климатических условиях;
6. Дать агроэкономическую оценку эффективности инновационных плазменных агротехнологий.

- В результате биоактивации семян плазмой происходит ускорение начального этапа онтогенеза, что позволяет поднять биофизический потенциал растений.
- Стимулирующий эффект плазмы проявляется в ускорении темпов роста coleoptile и корешков зародышей, повышении лабораторной всхожести.
- После облучения проростки активнее растут, повышается их устойчивость к сорнякам и поражениям вредными микроорганизмами.
- Семена различных культур и сортов по-разному реагируют на биоактивацию плазмой и для них характерны разные области спектров люминесценции.
- После биоактивации плазмой в семенах происходит генерация индуцированных свободных радикалов (СР), молекулярная структура которых отличается от контроля.
- При облучении семян с.-х. культур плазмой в них повышается активность амилазы, каталазы, протеолитических и других ферментов.
- В обработанных плазмой растениях наблюдается увеличение содержания хлорофилла, увеличивается интенсивности фотосинтеза и дыхания растений.
- Облученные плазмой семена можно хранить в обычных условиях без изоляции от внешнего ЭМП, а эффективность биоактивации сохраняется в течение 2-3 дней.
- При биоактивации плазмой повышается устойчивость растений к воздействию внешних стрессоров, увеличивается урожай и экологическая ценность продукции.

- Впервые теоретически обоснована и доказана экспериментально высокая эффективность плазменных технологий в сельскохозяйственном производстве.
- Излучения плазмы положительно воздействуют на первичные процессы прорастания семян: повышается активность ферментов, возрастает энергия прорастания; усиливается корневая система и т.д.
- Предпосевная биоактивация семян излучениями плазмы повышает урожайность ячменя, яровой пшеницы и озимой ржи различных сортов - в 1,3-1,6; овса, картофеля, гречихи, сои, зеленой массы и семян клевера - в 1,2-1,5; льна - в 1,5-1,7; зеленых и овощных культур - в 1,4-1,8 раза.
- Применение плазменных технологий в сельском хозяйстве повышает устойчивость культур против болезней и неблагоприятных факторов окружающей среды, способствует угнетению сорняков, улучшает качество товарной продукции, снижает количество нитратов в урожае овощных культур.
- Разработанные инновационные приемы и технологии значительно превосходят по эффективности известные способы стимулирования растений, отличаются экономичностью и имеют важную экологическую значимость за счет существенного снижения доз агрохимикатов.

- ✓ Обоснованы оптимальные режимы плазменной биоактивации семян и посадочного материала для различных сельскохозяйственных культур в результате реализации разработанных технологий в прецизионных исследованиях и производственных масштабах.
- ✓ Разработанные технологии предпосевной биоактивации семян и посадочного материала излучениями плазмы позволяют повысить урожайность практически всех сельскохозяйственных культур и улучшить качество полученной продукции, технологии прошли производственную проверку на полях хозяйств Смоленской и Ростовской областей и Краснодарского края.
- ✓ Созданы плазмотроны сельскохозяйственного назначения для предпосевного облучения семян потоком плазмы с расходом рабочего газа гелия – 2-3 л/мин, силой тока – 80-120 А, временем импульсного облучения – 0,01-1,00 сек и постоянным облучением в течение 40-60 сек, с расстояния – 40-80 см.
- ✓ Энергосберегающие и экологически безопасные технологии комплексного воздействия на семена плазменного излучения – важное звено в обосновании практического применения новых физических факторов электромагнитной природы (имеющих спектр излучения близкий к солнечному) на биологические объекты в агрономической практике.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

8

Лабораторные эксперименты проводились в межфакультетской учебно-научной лаборатории биофизики ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА» в период 1998-2008 гг. Под руководством доктора с.-х. наук, заслуженного деятеля науки РФ, почетного доктора БГСХА, проф. А.М. Гордеева.

Заведующим лабораторией был назначен автор данной диссертации.

В исследованиях так же принимали участие ведущие ученые, аспиранты, дипломники академии и сотрудники других научных учреждений.

Основные полевые эксперименты проводились на опытном поле академии, на почвах и в климатических условиях типичных для Смоленского региона.



Лаборатория биофизики



Опытное поле ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА»

При разработке методологических и агrobiологических основ биотимуляции прорастания семян плазменными излучениями, в обзоре были рассмотрены основы современной теории влияния стресса на растения и семена.

Для более четкого понимания биологического действия плазменных излучений в обзоре литературы были представлены научные основы действия электромагнитных полей на биологические объекты, теоретические аспекты механизма фотобиологических процессов фоторегуляторных и фитохромных систем происходящих на ранних этапах онтогенеза и не связанных с фотосинтезом.

Для дальнейшей разработки теории плазменной биоактивации в аналитической части были так же рассмотрены различные гипотетические подходы взаимодействия оптических излучений и растительных организмов, изучена проблема влияния на сложные биологические структуры слабых и сверхслабых физических факторов и излучений, приведен многочисленный материал по эффективности стимулирования роста и развития растений электромагнитными излучениями.

В заключительной части обзора были приведены немногочисленные примеры применения излучений плазмы для предпосевной обработки семян, с точки зрения нового эффективного, экологически безопасного способа повышения биоактивации семян, который недостаточно изучен, но представляет несомненный интерес.

На основе данных, представленных в обзоре литературы, можно сделать заключение, что физические факторы (в том числе и излучения), способны оказывать стимулирующие воздействия на биологические процессы прорастающих семян и тем самым повышать урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

10

Длительность периода исследований позволила проводить опыты в различных метеорологических условиях.

Можно отметить, что типичные для зоны погодные условия вегетационных периодов 1994-2008 гг. составляют 81%, что позволяет достаточно объективно оценить агроэкологическую степень влияния изучаемых плазменных технологий на продуктивность основных с.-х. культур.

Большая часть исследований выполнялась на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной окультуренности.

Опыты с низкотемпературной плазмой сопровождались: анализами почвенных и растительных образцов; фенологическими наблюдениями, контролем за сорной растительностью, вредителями и болезнями. Качество полученной продукции анализировали по общепринятым методикам.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием статистического пакета Stadia 7.0, дисперсионного и корреляционного анализа.



Климатические условия

Центральный район Нечерноземной зоны России относится к зоне достаточного увлажнения с преобладанием избыточно влажных (30%) и влажных (32%) лет. Вероятность повторения лет с засушливыми условиями может составлять 5%, а полузасушливыми 12% .

Климатические условия Смоленской области позволяют выращивать зерновые культуры, лен, картофель, многолетние и однолетние травы, достаточно широкий ассортимент овощных, плодовых и ягодных культур.

Степень влияния агрометеорологических факторов на урожайность с.-х. культур можно в значительной мере определить по величине ГТК, нами были выделены: нормальные с ГТК 1,3-1,9; влажные с ГТК >1,9 и сухие с ГТК <1,3.

Оптимальными (ГТК 1,3-1,9) - для формирования урожая зерновых культур были вегетационные периоды 1995, 1996, 2001, 2003 годов.

Влажными (ГТК > 1,9) – были вегетационные периоды 1997, 1998, 2000 годов.

В указанные годы отмечен комплекс неблагоприятных явлений, обусловленных избыточным количеством осадков и неустойчивым температурным режимом воздуха.

Сухими (ГТК <1,3) – были вегетационные периоды 1994, 1999, 2002 годов.

В эти годы были отмечены низкие запасы продуктивной влаги в течении вегетационного периода (98-188 мм), что отрицательно сказалось на росте и развитии с.-х. культур.

Характеристика почвы

Почва опытного поля «Смоленской ГСХА», на котором проводилось подавляющее количество полевых экспериментов, дерново-подзолистая, среднесуглинистая, слабокультуренная на лессовидном суглинке.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	pH сол	Нг, мЭКВ/ почвы	S, мЭКВ/ почвы	V, %	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/ кг	K ₂ O, мг/ кг
A _п $\frac{0-21}{21}$	5,4-6,3	2,2-3,8	9,3-10,4	71,0-82,5	1,83-2,01	79-203	87-149
A ₂ $\frac{21-35}{14}$	4,0-4,3	3,8-4,0	6,0-7,1	60,4-62,7	0,67-1,20	64-79	57-83
A ₂ B $\frac{35-70}{35}$	5,1	3,8	5,2	57,0	0,91	160	175
B $\frac{70-109}{39}$	4,7	4,3	4,6	51,2	0,19	44	79
C 109-138	4,6	4,2	4,4	51,1	0,12	47	80

Почва характеризуется достаточно неглубоким пахотным горизонтом (0-21 см) в котором отмечено невысокое содержание гумуса (1,83 -2,01%) и, вместе с тем, pH_{сол} от слабокислой до нейтральной (5,4-6,3). В почве отмечается высокая степень насыщенности основаниями (71,0-82,5%) высокое содержание подвижных форм фосфора (79-203 мг/кг) и среднее обменного калия (87-149 мг/кг).

Агрохимические показатели почвы опытного участка обладают благоприятными параметрами для роста и развития большинства с.-х. культур.

Плотность почвы – 1,24 г/см³, общая порозность – 52,5%, НВ – 26,3%.

Вводно-физические свойства, гранулометрический и микроагрегатный состав почвы опытного участка типичны для дерново-подзолистых почв.

Водно-физические параметры почвы опытного участка

Горизонт почвы, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая порозность, %	МГ, %	ВЗ, %	НВ, %	ДАВ, %
А пах	1,24	2,61	52,5	4,73	7,10	26,3	18,20
А ₂	1,34	2,62	48,8	3,43	5,15	19,7	14,55
А ₂ В	1,35	2,64	49,6	3,31	4,97	20,3	15,33
В	1,43	2,70	47,0	4,98	7,47	17,6	10,13
С	1,47	2,69	45,0	4,52	6,78	17,9	11,12

Гранулометрический и микроагрегатный состав почвы опытного участка

Слой почвы, см	Гигроскопическая влага, %	Потери при обработке, %	Размер механических элементов, мм их содержание, %						
			1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001	менее 0,01
0-20	1,28	0,4	$\frac{2,8}{5,5}$	$\frac{24,4}{27,8}$	$\frac{41,1}{48,1}$	$\frac{18}{15,1}$	$\frac{4,9}{1,8}$	$\frac{7,4}{0,7}$	30,3
20-40	1,16	1,5	$\frac{2,6}{2,8}$	$\frac{19,6}{28,8}$	$\frac{53,3}{57,6}$	$\frac{8,7}{7,3}$	$\frac{8,7}{2,8}$	$\frac{5,6}{0,7}$	23,0

Плазма - ионизованный газ, содержащий свободные положительно и отрицательно заряженные частицы, в котором суммарный заряд в каждой единице объема стремится к нулю, то есть плазма представляет собой электрически нейтральную среду.

Если любое вещество нагреть до очень высокой температуры или пропускать через него сильный электрический ток, его электроны начинают отрываться от атомов. Процесс отрыва электронов от атомов называется ионизацией, в результате которой получается смесь свободных частиц с положительными и отрицательными зарядами.

Важной характеристикой плазмы считается степень ионизации, которое показывает отношение числа ионов n_e в единице объема плазмы к полному числу частиц n в этом же объеме.

Оптическое плазменное излучение характеризуется величинами: длиной волны λ (нм); потоком излучения Φ (Вт), равным отношению энергии перенесенного излучения dQ за единицу времени dt ; спектральной плотностью потока ϕ_λ , (Вт/нм); облученностью E (Вт/м²), выраженной в виде плотности потока излучения на поверхности площадью dA ; энергетической экспозицией H (Дж/м²) - дозой облучения; характеристиками поглощения $a(\lambda)$, отражения $p(\lambda)$ и пропускания $\tau(\lambda)$ веществом, с которым излучение взаимодействует.

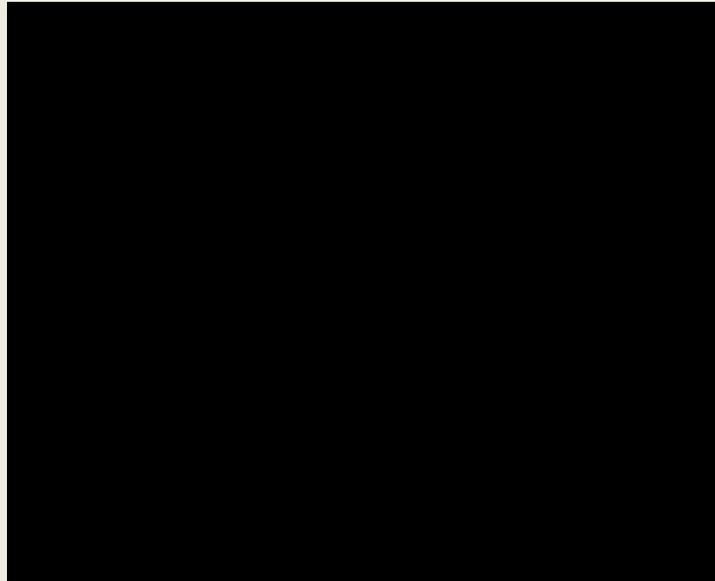
В зависимости от условий, в которых образована и находится плазма, различают низкотемпературную и высокотемпературную плазму.

Низкотемпературная гелиевая плазма является одной из самых простых по составу, в ней присутствуют только атомы гелия и электроны. Основными процессами в этом виде плазмы являются элементарные процессы возбуждения и ионизации газа, рекомбинации заряженных частиц и другие процессы переноса заряженных и возбужденных частиц, а также процессы переноса энергии за счет теплопроводности и конвекции. Число типов элементарных процессов в низкотемпературной плазме достигает нескольких десятков.

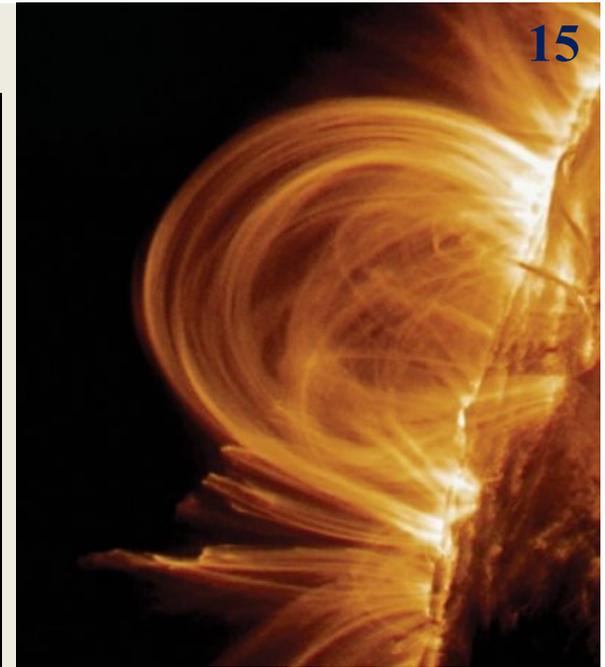
ВИДЫ ПЛАЗМЫ



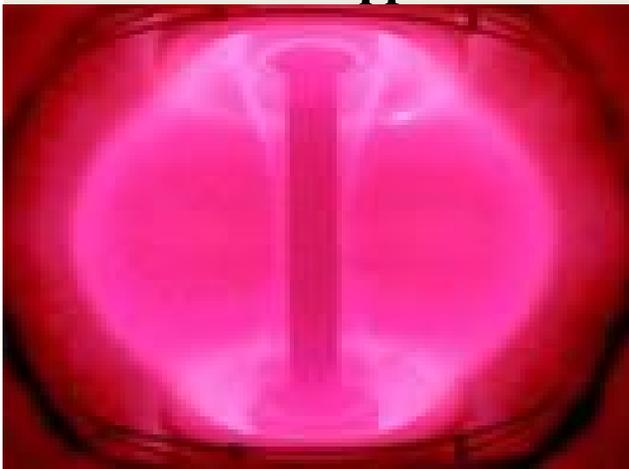
**Типичный
плазменный фрактал**



В И Д Е О



**Плазменная
корона Солнца**



**Плазма в
термоядерном
реакторе**



**Струя плазмы из сопла
плазмотрона
прямого действия**



**Струя плазмы из сопла
плазмотрона
косвенного действия**

ВИДЫ ПЛАЗМОТРОНОВ ПРИМЕНЯВШИХСЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Обработка семян проводилась при помощи *плазмотрона* – устройства генерирующего поток излучения плазмы.

Результаты ранних исследований получали используя **промышленные плазмотроны**: СУПР-1, СУПР-2ММ, Мультиплаз-2500М, Плазар-АПО22.

Естественно они не отвечали потребностям сельскохозяйственной биологии поэтому были созданы **сельскохозяйственные плазмотроны** работающие на инертном газе гелии: лабораторные СУПР-М и СУПР-К; мобильный комплекс «АгроПлаза-М» (обеспечивающий плазменную предпосевную обработку семян с производительностью до 2 тонн в час).

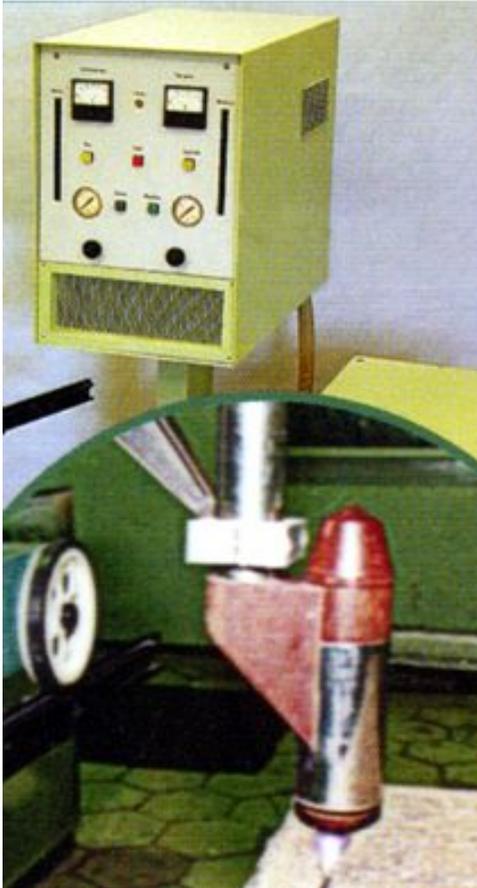
В состав комплекса «АгроПлаза-М» входят:

- «АгроПлаза-М-01» – транспортер для приема и формирования потока семян;
- «АгроПлаза-М-02» – блок управления.
- «АгроПлаза-М-03» – система охлаждения плазмотронов.

Комплекс транспортируется на автомобиле КамАЗ-55102-053.

Новые *сельхозплазмотроны* были специально созданы для производственного облучения семян в больших объемах. Они отличаются высокой эффективностью, большим и устойчивым размером плазменного пятна, а так же максимально возможной продолжительностью работы без технического обслуживания.

Исследования времени стабильной работы плазмотронов показали, что данные образцы практически не меняют свои характеристики при работе в течение 6-8 часов.



**Плазматрон для резки
металла «СУПР-1»**



**Хирургический
плазматрон «СУПР-2ММ»**



**Лабораторный с.-х.
плазматрон «СУПР-М»**



**Лабораторный с.-х.
плазматрон «СУПР-К»**



мультиплаз - 2500

**Серийно выпускаемый
сварочный
плазматрон
«Мультиплаз - 2500М»
работающий на
парах воды**



**Серийно
выпускаемый
сварочный
плазматрон
«Плазар-АПО22»
работающий на
парах воды**

ВНЕШНИЙ ВИД МОДУЛЕЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ «АГРОПЛАЗА-М»

18



Общий вид установки



ВИДЕО



Силовая



Сопла



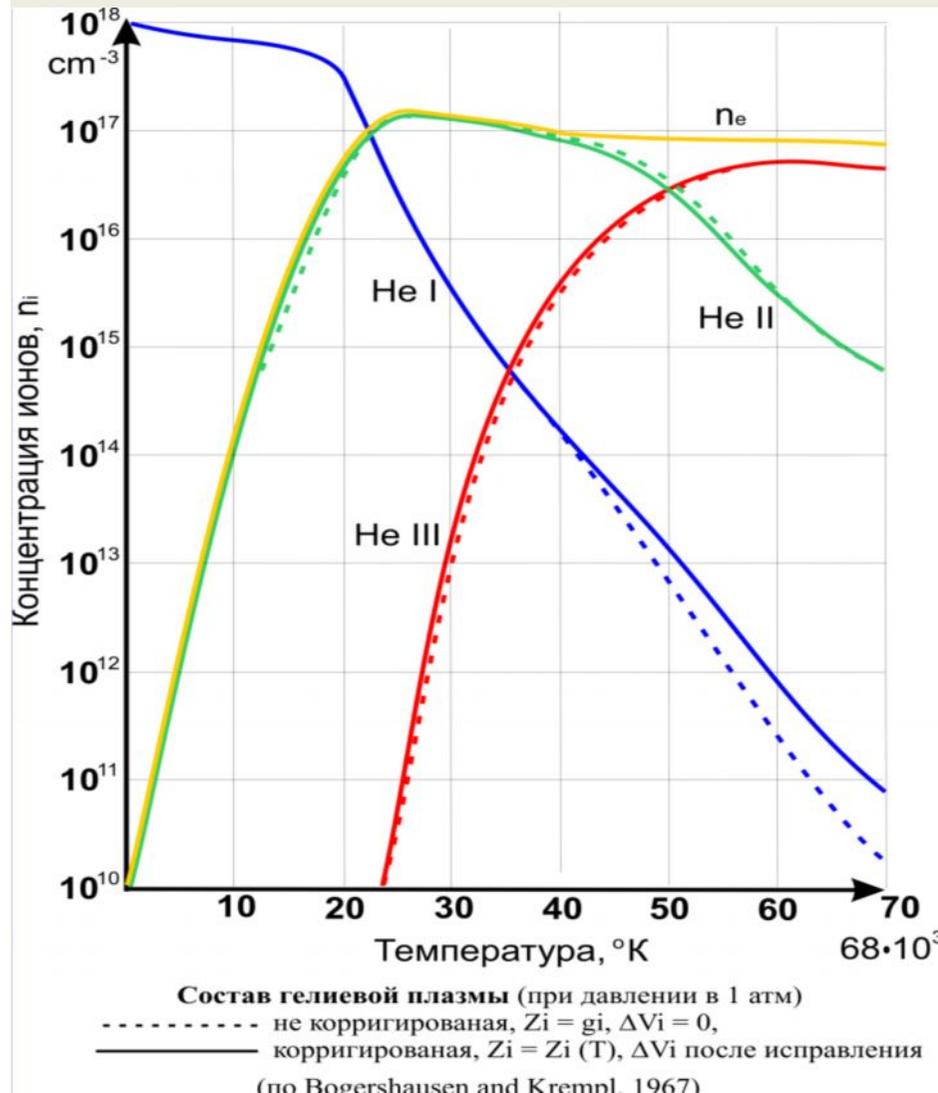
Транспортер



Охлаждение

ДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА СЕМЕНА

Биологическая активность низкотемпературной гелиевой плазмы



Состав низкотемпературной слабоионизированной гелиевой плазмы

Биологическая активность плазмы является результатом комплексного воздействия процессов происходящих при облучении биологических объектов.

К основным компонентам биоактивации плазмы относятся:

- 1) гелий, находящийся в метастабильном (т.е. долгоживущем) возбужденном состоянии, обладающий избытком энергии, которая может быть передана облучаемому биообъекту;
- 2) свободные электроны, свободные атомы и радикалы, спиновая релаксация, возбужденные частицы, УФ-излучение, электромагнитные поля;
- 3) образование порфиринов, С=О групп и монооксидов азота, возникающих при контакте плазмы с атмосферным воздухом.

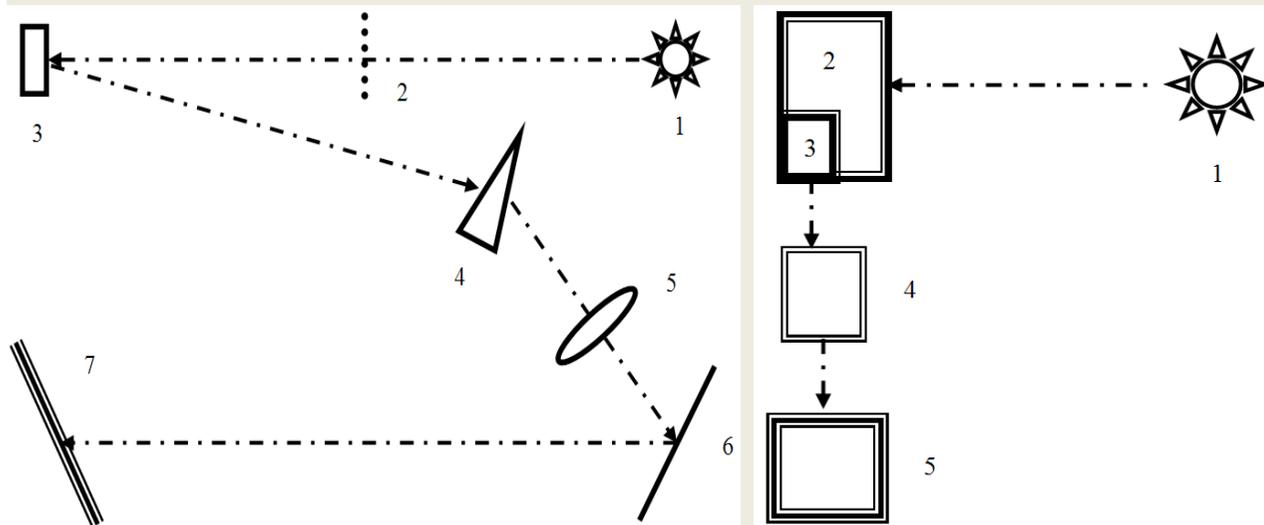
Исследование отдельных участков спектра плазмотронов сельскохозяйственного назначения СУПР-М и СУПР-К

20

Для анализа спектральных характеристик плазмы использовался спектрограф ИСП-30, спектрометр (собранный на основе монохроматора фотометра СФ-4).

В качестве регистрирующего приемника в спектрометре использовался фотоумножитель ФЭУ-18А. Сигнал с фотоумножителя поступал на электрометр ЭД-0,5М, а затем на самописец ЭПП-0,9М (схемы 1 и 2).

Исследования спектра плазмотрона показали, что интенсивность сигнала изменяется хаотично на небольшую величину с периодом меньшим 0,1 секунды.



1. Схема размещения приборов при анализе спектра плазмы:

1 – источник света; 2 – щель спектрографа; 3 – коллиматор; 4 – призма; 5 – камерный объектив; 6 – плоское зеркало; 7 – кассета.

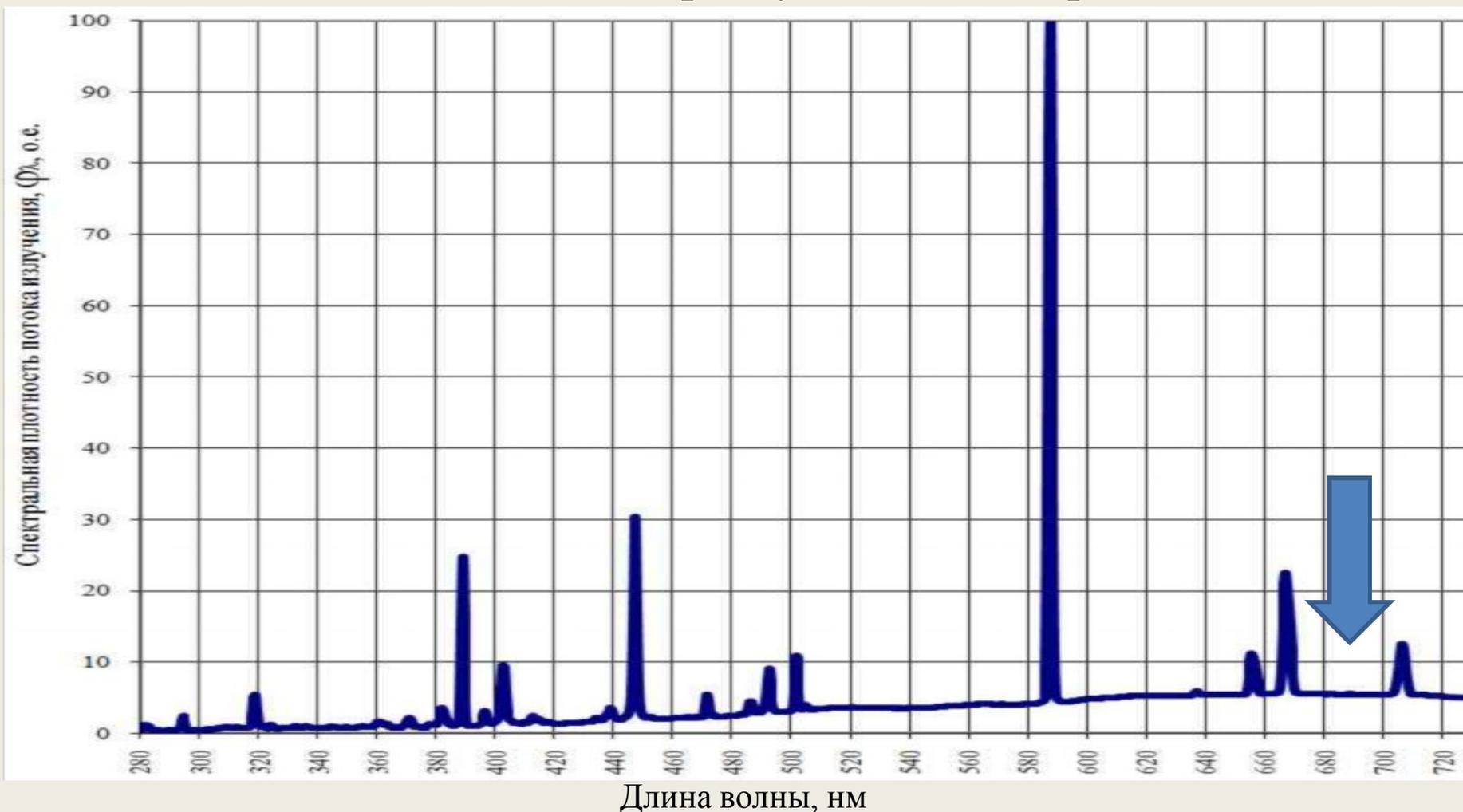
2. Схема размещения регистрирующей аппаратуры спектрометра:

1 – источник света; 2 – СФ-4; 3 – ФЭУ-18А; 4 – электрометр ЭД-0,5М; 5 – самописец ЭПП-0,9М.

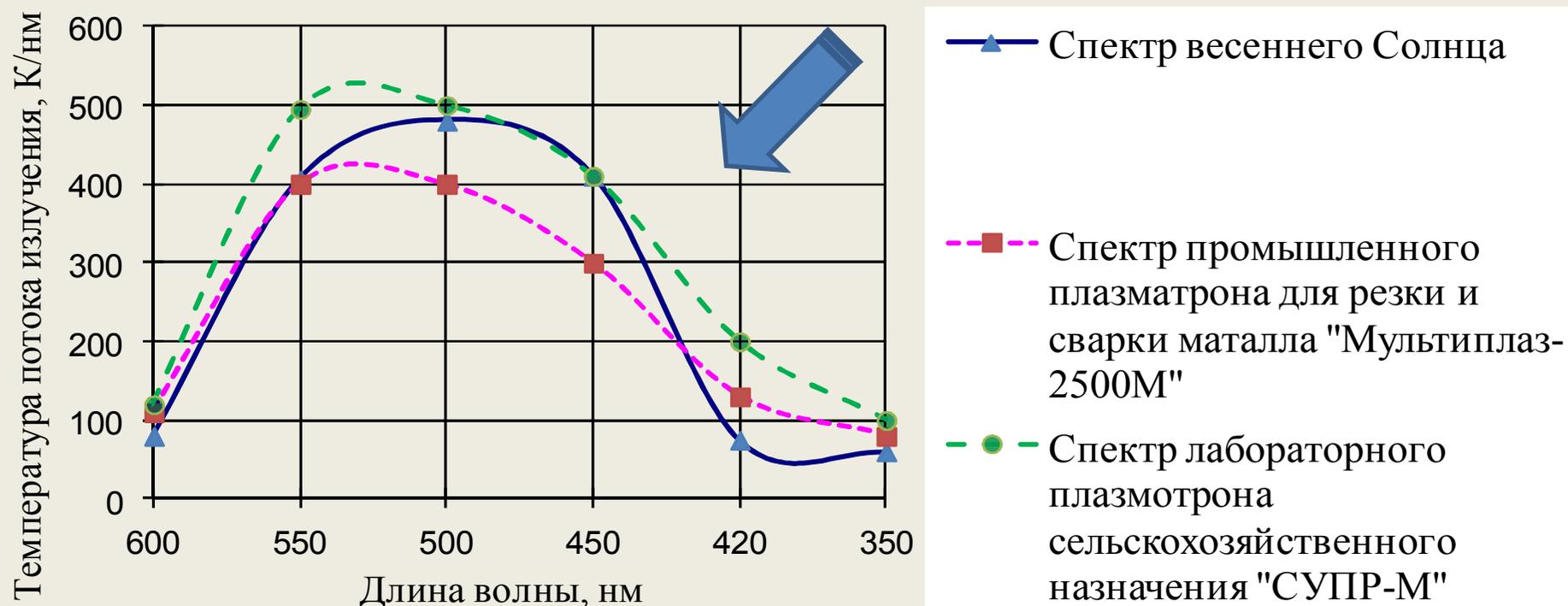
Опыты с плазматронами дали следующие результаты:
на ультрафиолетовую часть спектра приходится **17%** от общего излучения;
78% суммарного излучения приходится на видимую часть спектра, на инфракрасный участок спектра приходится всего **5%** излучения гелиевой плазмы.

При применении гелия в качестве рабочего газа плазматрона максимум сплошной составляющей находится примерно на участке длин волн 680-700 нм, что согласно закону смещения для теплового излучения соответствует температуре 4140-4262 К, а наиболее яркие линии излучения гелия – на длинах волн: 294,5; 318,7; 388,9; 402,6; 447,1; 471,3; 492,2; 501,6; 587,6; 655,5; 667,8; 706,5 нм.

Типичный смешанный спектр излучения плазматрона «СУПР-М»



В длинноволновой области спектра испускается, в основном, тепловое излучение, а в коротковолновой – излучение люминесценции атомов гелия и различных примесей. Следовательно, в отличие от промышленно выпускаемого плазматрона для резки и сварки металла «Мультиплаз 2500М», сельскохозяйственный плазматрон «СУПР-М» характеризуется спектром излучения близким к спектру весеннего Солнца, особенно в областях 460-400 нм.



Сравнение спектров весеннего Солнца и плазматронов

Опыты с гелиевой плазмой позволили также установить увеличение лабораторной всхожести семян: яр. пшеницы при сплошном спектре излучения - на 4,2%; при 320 нм - на 11,1; при 350 нм - на 2,4; при 375 нм - на 3,6%.

Для изучения биологической активности различных участков спектра гелиевой плазмы были проведены эксперименты которые доказали, что наиболее эффективны участки спектра с длиной волны 300-350 нм.

Результаты облучения семян яровой пшеницы различными участками спектра гелиевой плазмы

Варианты		Средние значения по 4 повторениям			
длина волны, нм	время, сек расстояние до семян, см	длина проростков		длина корней	
		см	% к контр.	см	% к контр.
Эксперимент № 1					
Контроль *	40 сек / 40 см	5,19	-	5,76	-
300	40 сек / 40 см	4,20	-19	4,48	-22
350	40 сек / 40 см	5,40	+4	4,97	-14
400	40 сек / 40 см	4,70	-9	5,31	-8
Эксперимент № 2					
Контроль *	40 сек / 40 см	3,2	-	5,1	-
300	40 сек / 40 см	3,8	+19	5,5	+8
350	40 сек / 40 см	2,8	-12	4,5	-12
400	40 сек / 40 см	2,5	-22	3,7	-27

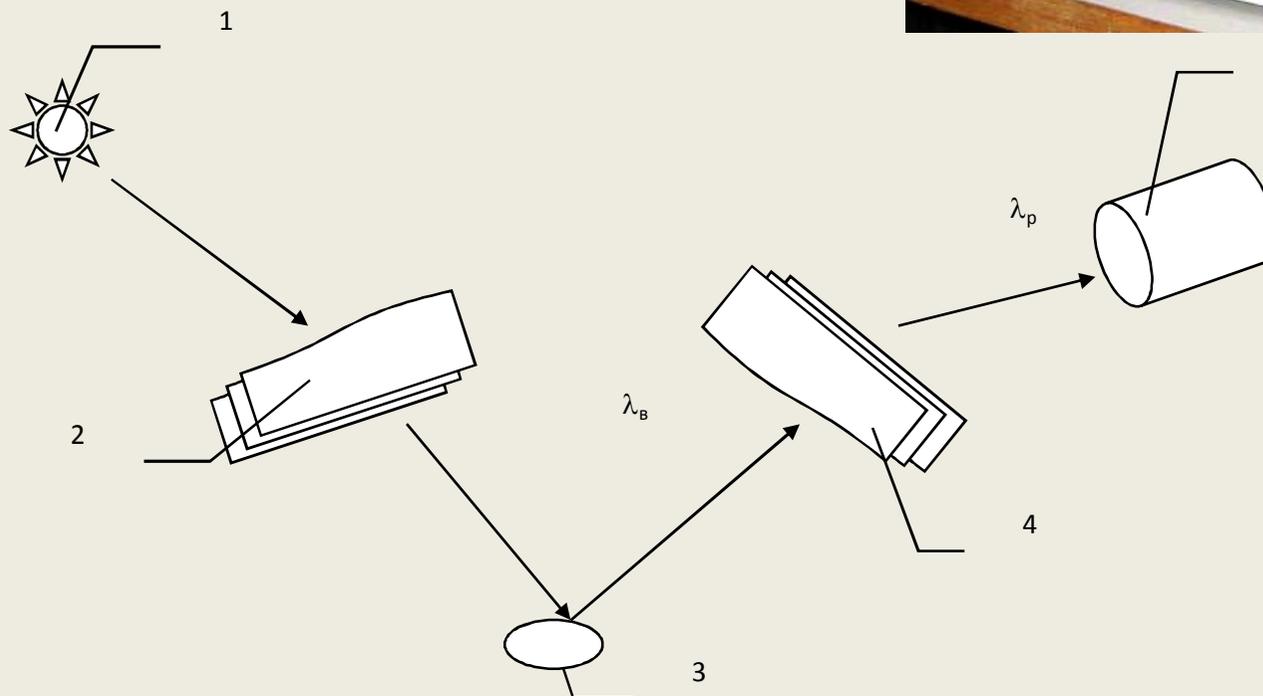
* – сплошной спектр

Изучение спектра эффективного поглощения и люминесценции семян облученных плазмой

24

Важной оптической характеристикой семян является спектр эффективного поглощения и люминесценции.

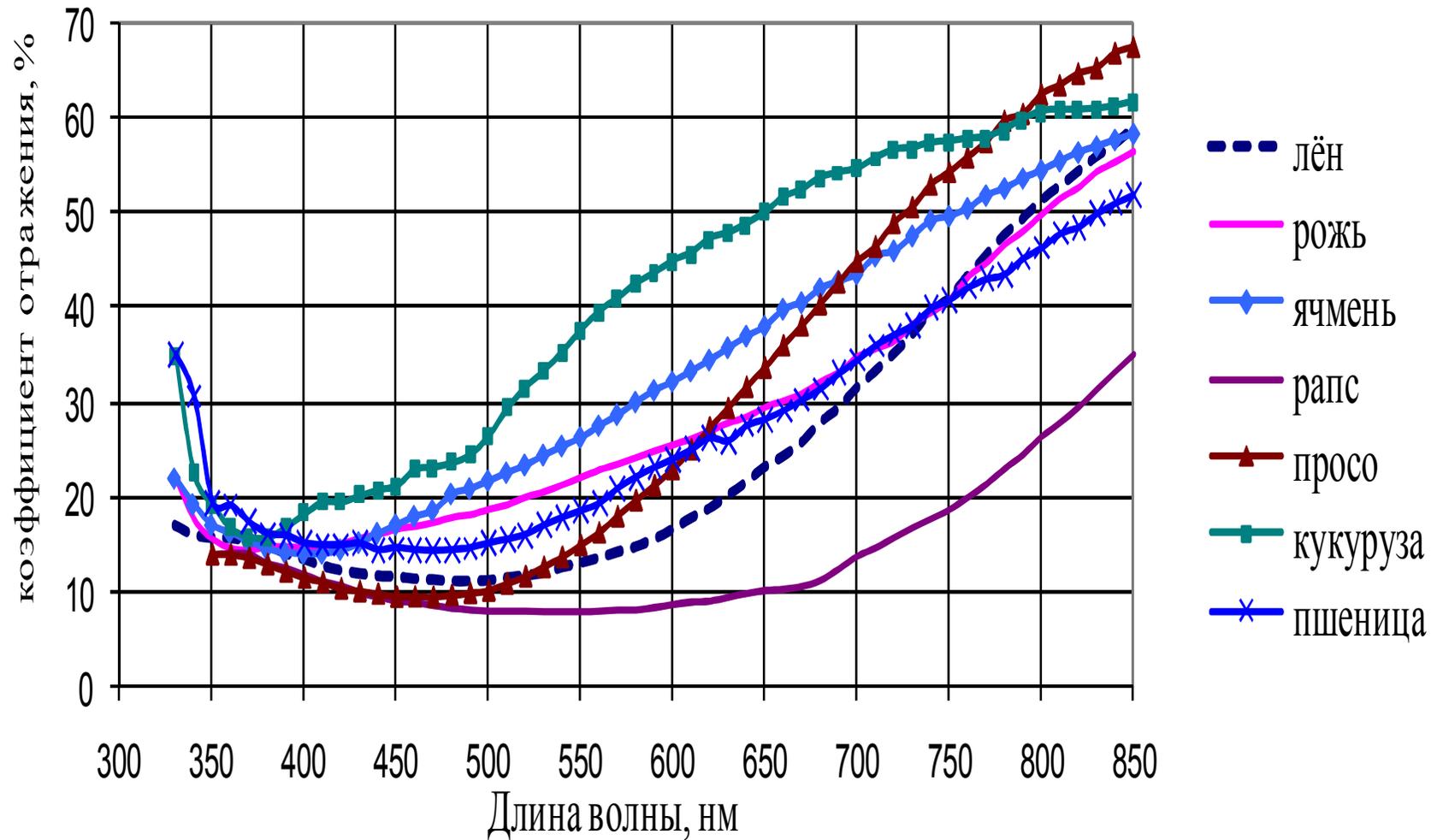
В экспериментах использовался прибор «Флюорат-02-Панорама» производства НПФ АП «Люмэкс».



Упрощенная оптическая схема эксперимента:

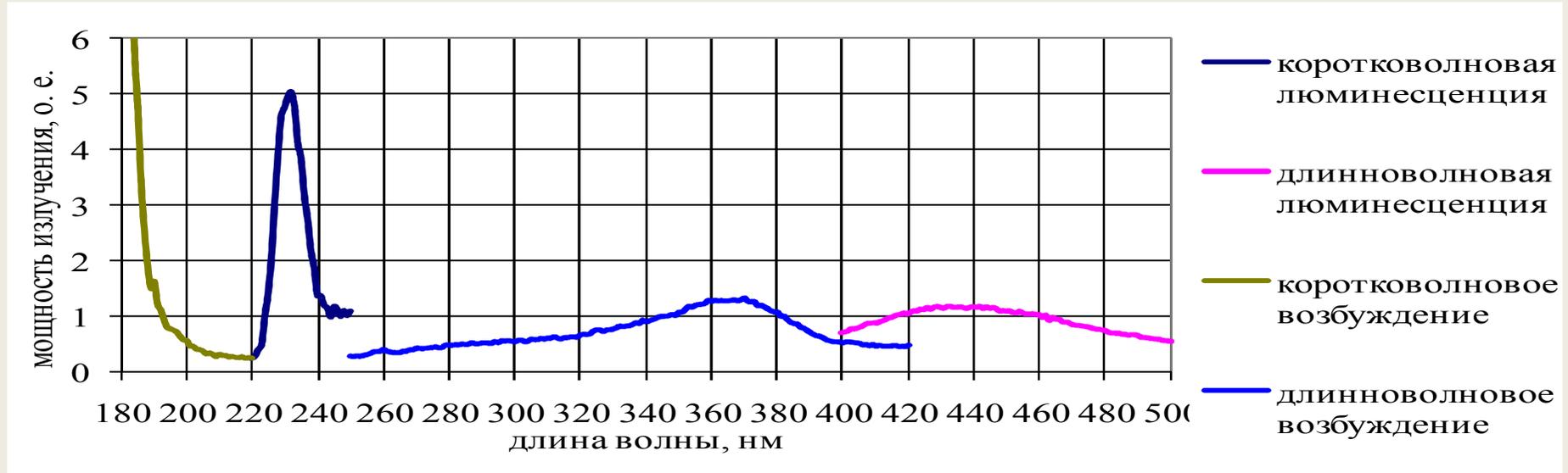
1 – источник света плазматрон «СУПР-М», 2 – монохроматор канала возбуждения люминесценции, 3 – исследуемое семя, 4 – монохроматор канала регистрации люминесценции, 5 – приемник излучения; $\lambda_{\text{в}}$ и $\lambda_{\text{р}}$ – длины волн светового потока канала возбуждения и канала регистрации соответственно

Результаты измерений спектральных зависимостей отражения семян наиболее распространенных с.-х. культур: яр. пшеницы (Энита), ржи (Пурга), ячменя (Приазовский 9), льна (Союз), яр. рапса (Форум), проса (Саратовская 8), кукурузы (Поволжский 89) показали, что семена разных культур имеют схожие спектральные характеристики отражения в видимой и ближних УФ и ИК областях спектра.

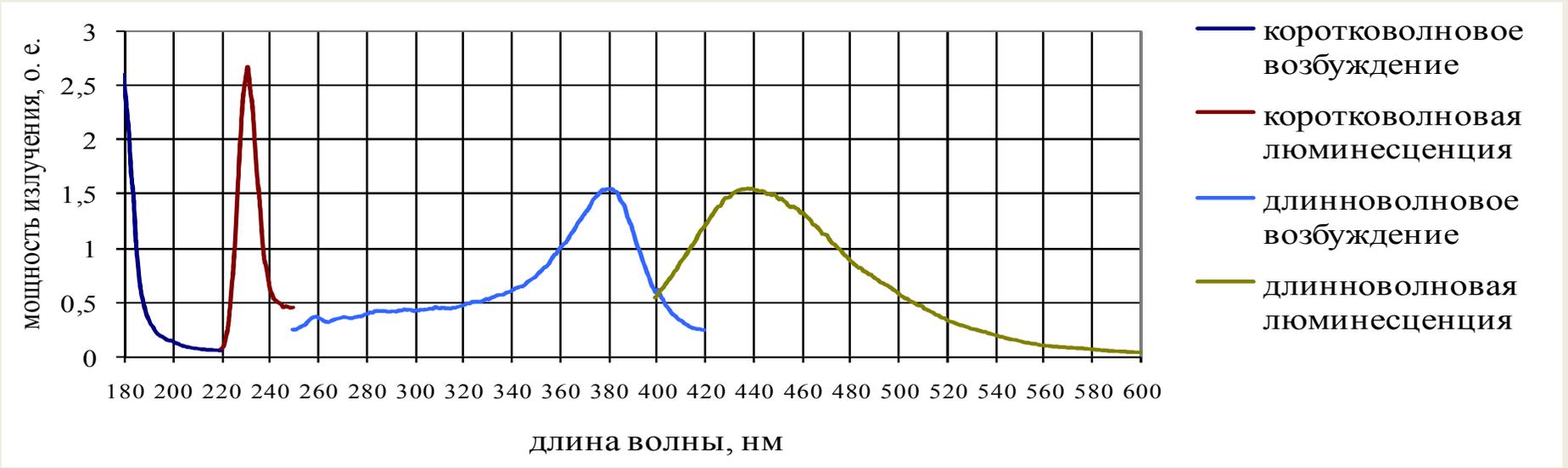


Спектральные зависимости отражения семян

В следующем эксперименте при измерении люминесценции в качестве опытных образцов использовались семена яровой пшеницы сортов Энита и Кинельская 60, а также кукурузы гибрида Поволжский 89. Влажность семян составляла 12-16%.

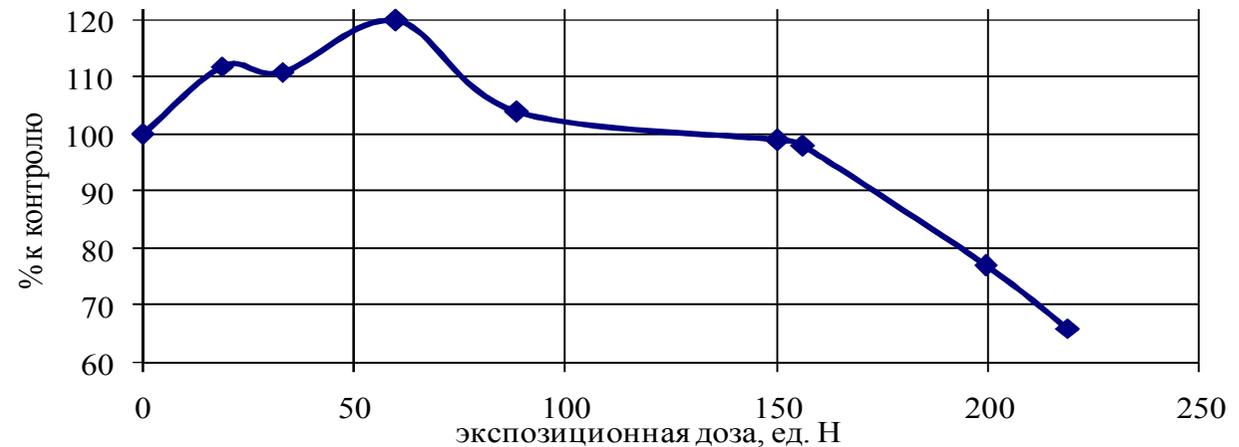


Спектры возбуждения и люминесценции семян пшеницы



Спектры возбуждения и люминесценции семян кукурузы

Опыт в более широком спектральном интервале проводился с семенами льна сорта Союз, в котором в качестве источника излучения так же использовался плазмотрон «СУПР-М».



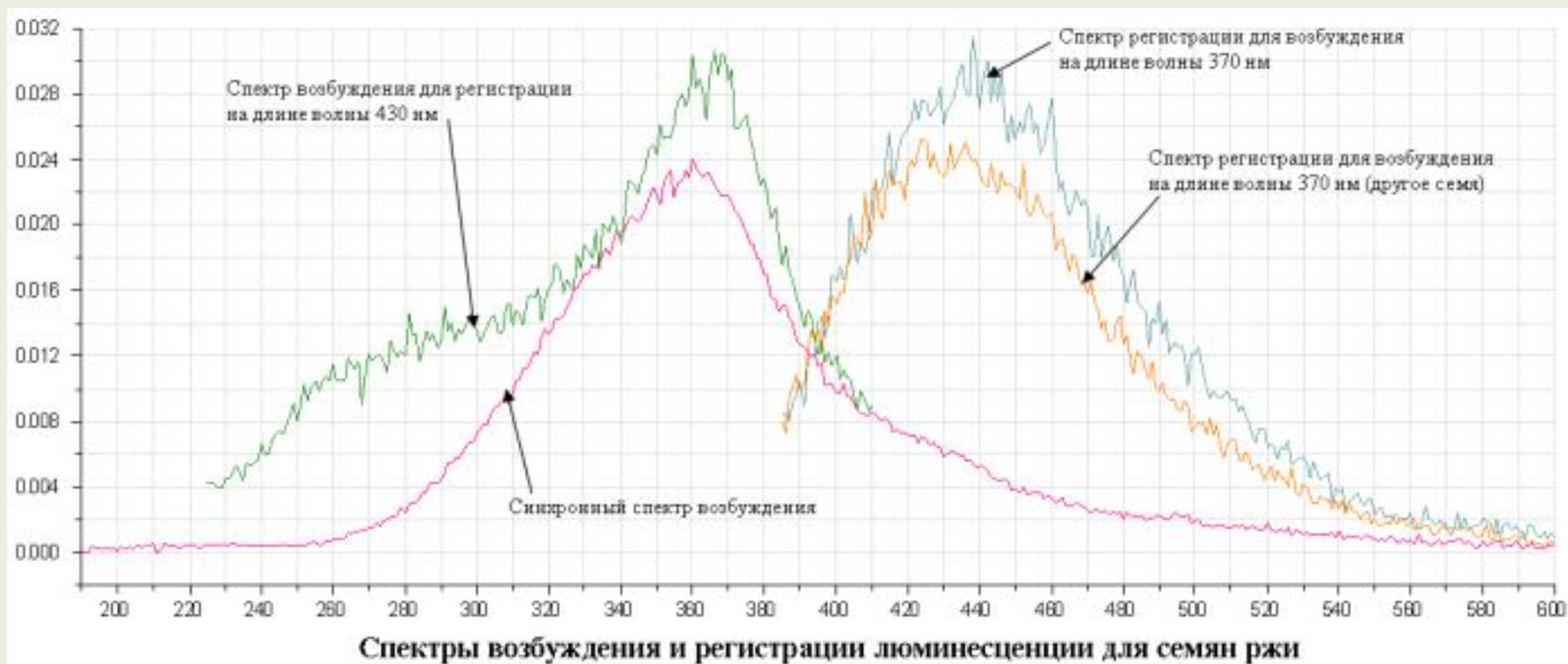
Зависимость первичных параметров прорастания семян льна Союз от спектра излучения плазмотрона

Вариант	Поток излучения (Ф), о.е.	Всхожесть, %	% к контролю	Средняя длина проростков, см	% к контролю
Контроль	-	92,5	-	10,1±0,9	-
280	0,50	87,5	95	9,6±1,5	95
300	0,47	95,0	103	11,2±1,1	112
350	0,83	97,5	105	11,2±0,7	111
370	1,50	100,0	108	12,0±0,8	120
400	2,22	90,0	97	10,5±1,3	104
450	3,91	90,0	97	9,8±1,2	98
500	5,48	90,0	97	6,6±0,9	66
550	3,76	97,5	105	10,0±1,1	99
600	4,99	95,0	103	7,7±0,9	77
НСР ₀₅		4,5		0,31	

В следующем эксперименте осуществлялась качественная оценка люминесценции, возникающей в семенах различных культур при освещении их в ультрафиолетовом и видимом диапазонах света (от 210 нм до 670 нм), параллельно оценивалась кинетика люминесценции.

Снимая спектры возбуждения для различных фиксированных длин волн регистрацией люминесценции можно определить спектральный состав света, который будет вызывать люминесценцию одной, либо другой интенсивности, а значит гарантированно переводить органические молекулы в возбужденное состояние.

Анализ полученных данных показал, что метод может быть использован для оценки влияния плазменной обработки на технологические свойства семян.



Изучение генерации свободных радикалов показало, что спектры ЭПР исходных семян существенно отличаются по интенсивности и параметрам: ширине сигнала ΔH и g -фактору. Последнее свидетельствует о различной молекулярной структуре свободных радикалов (СР).

Доказано, что облучение плазмой приводит к повышению концентрации СР в метаболически активных частях семян, а молекулярная структура и параметры сигналов индуцированных семян отличаются от исходных. При этом плазма, не затрагивая генетический аппарат семян, воздействует на их ферментативные системы.

Следовательно, можно сделать вывод, что одним из основных механизмов биологического эффекта плазмы является генерация свободных радикалов в облучаемых семенах.

Параметры спектров ЭПР семян различных культур

Культура	Образец	ΔH , Гс	g -фактор	I , 10^{16} ср/г
Подсолнечник	Исходный (контроль)	7,0	2,0029	16,2
	сразу после облучения	7,5	2,0029	28,3
	Через 8 суток после облучения	7,5	2,0028	24,5
	Через 14 суток после облучения	7,8	2,0029	22,7
Лук-батун	Исходный (контроль)	5,0	2,0036	14,8
	сразу после облучения	4,7	2,0039	18,5
	Через 8 суток после облучения	4,9	2,0037	16,7
	Через 14 суток после облучения	4,8	2,0034	13,5
Лен	Исходный (контроль)	5,7	2,0055	0,5
	Сразу после облучения	8,5	2,0037	3,1
	Через 8 суток после облучения	8,0	2,0040	2,1
	Через 14 суток после облучения	7,1	2,0057	1,4
Рапс	Исходный (контроль)	5,3	2,0052	1,2
	Сразу после облучения	6,7	2,0045	2,7
	Через 8 суток после облучения	6,1	2,0048	2,2
	Через 14 суток после облучения	6,5	2,0049	1,9
Свекла	Исходный (контроль)	5,9	2,0037	2,8
	Сразу после облучения	6,4	2,0050	11,5
	Через 8 суток после облучения	6,1	2,0049	8,2
	Через 14 суток после облучения	6,2	2,0046	6,0
Рожь	Через 4 суток после облучения	7,8	2,0038	3,5
	Через 13 суток после облучения	6,2	2,0045	1,7

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

30

Исследование эффективности применения прерывистой (импульсной) биоактивации семян

При разработке технологий использования физических факторов применительно к биологическим объектам – семенам растений – возникает вопрос об экспозиции (*времени*) воздействия изучаемого фактора. Интерес к малому и сверхмалому времени облучения семян не случаен, так как в этом случае можно наладить непрерывный технологический процесс предпосевной обработки.

Постоянная обработка семян плазмой в течение 40, 60 и более секунд, несмотря на эффективность, не устраивает с технологической точки зрения. Производственная плазменная установка должна быть и эффективной и производительной.

В этой связи, основываясь на резонансной теории действия слабых и сверхслабых электромагнитных излучений на биологические объекты, было решено использовать «*импульсную*» обработку семян. Для этого применили дисковый прерыватель (*обтюратор*), позволяющий задавать различную скважность облучения.

Обтюратор состоит из привода вращения дисков и системы управления импульсами. Импульсы излучения формируются путем перекрывания оптического канала двумя дисками с прорезями.

Система управления приводом обеспечивает регулирование и стабилизацию частоты вращения дисков. Минимальное время засветки и затемнения ограничено максимальной частотой вращения привода и составляет 0,005 сек, а скважность (отношение длительности импульсов к периоду их следования) устанавливается длиной щели и может меняться для импульсов засветки – от 0,5 до 0 сек.

Таблица перевода реального времени облучения в импульсное при использовании дискового прерывателя (обтюратора), позволяющего задавать различную скважность облучения

Реальное время облучения, сек	Импульсное время облучения, сек
Диск с 2 отверстиями	
200	10
100	5
20	1
10	0,5
5	0,25
2,5	0,125
2	0,1
1	0,05
Диск с 4 отверстиями	
180	120
120	80
60	40
30	20
15	10
1,5	1
1	0,01

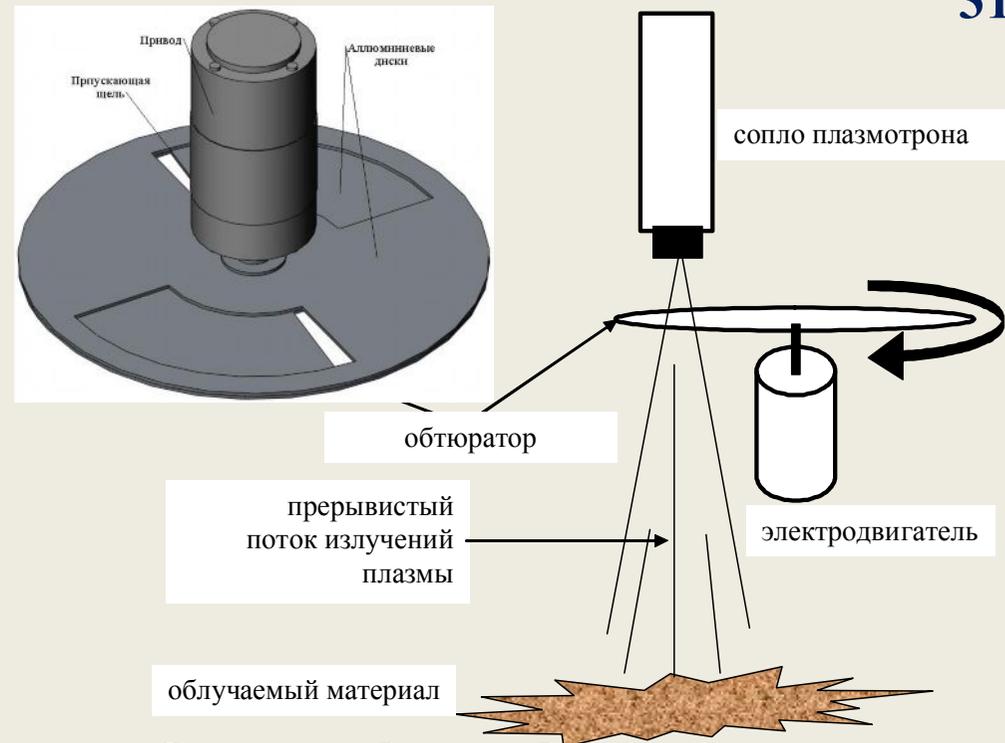
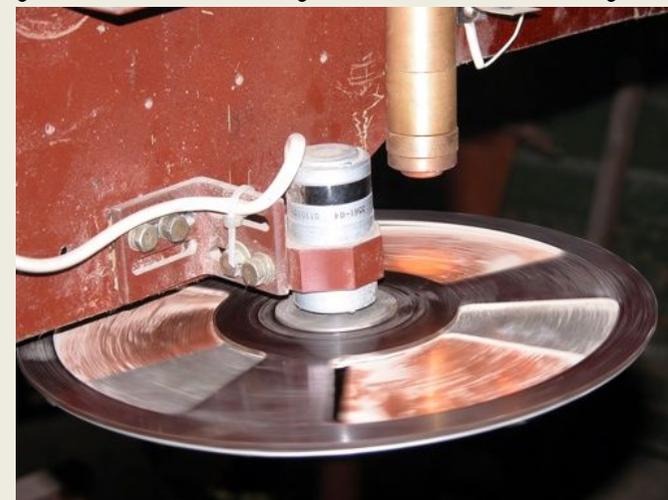


Схема работы обтюратора для получения импульсного облучения



Внешний вид обтюратора

В опытах с семенами различных культур была выявлена высокая эффективность прерывистого (*импульсного*) облучения в течение 0,01 сек, при общем времени нахождения семян под плазмотроном 1 сек.

По стимулирующему эффекту импульсное облучение в течение 0,01 сек превосходило другие экспозиции обработки, при этом при обработке семян озимой ржи, яровой пшеницы, овса и других культур, ускорялся рост coleoptile и зародышевых корешков в 1,2-1,5 раза, повышалась и всхожесть семян.

Результаты импульсного облучения семян различных культур

Время облучения	Высота coleoptile		Длина корешков		Всхожесть	
	см	% к контр.	см	% к контр.	%	± к контр.
озимая рожь						
контроль	9,4	-	50,1	-	87	-
10 сек	9,5	101	50,6	101	90	+3
1 сек	8,8	94	45,4	91	68	-22
0,01 сек	10,4	111	50,2	100	70	-20
яровая пшеница						
контроль	2,88	-	2,92	-	55,0	-
10 сек	4,29	149	4,96	170	67,5	+13
1 сек	3,88	135	4,40	151	70,0	+15
0,01 сек	4,36	151	4,64	159	75,0	+20
овес						
контроль	5,32	-	5,31	-	70	-
10 сек	5,03	95	4,63	87	60	-14
1 сек	5,52	104	4,92	93	73	+4
0,01 сек	6,57	123	6,55	123	80	+14

После облучения семян различных сортов и репродукций яровой пшеницы и ячменя плазмой чаще всего наблюдается активация суммарной ферментативной активности, особенно это характерно для импульсного облучения семян массовой репродукции.

Через несколько дней после обработки суммарная ферментативная активность семян снижается на всех сортах и при всех экспозициях облучения.

Влияние времени обработки семян яровой пшеницы и ячменя плазмой и отлежки семян на суммарную ферментативную активность

Культура, сорт, репродукция	Анализ в день обработки семян				Анализ через 9 дней после обработки			
	Экспозиция							
	контроль	0,01 сек (импульсно)	10 сек (импульсно)	10 сек (постоянно)	контроль	0,01 сек (импульсно)	10 сек (импульсно)	10 сек (постоянно)
Яровая пшеница, Энита (суперэлита)	715	835	814	794	832	811	822	801
Яровая пшеница, Энита (массовая Репродукция)	740	870	850	929	850	715	734	770
Яровая пшеница Иволга (массовая репродукция)	1069	1155	877	1105	962	939	930	932
Ячмень Гонар (массовая репродукция)	817	770	770	760	610	582	604	592
Ячмень Гонар (первая репродукция)	633	681	728	696	325	354	388	451

При импульсном облучении плазмой на семян яр. пшеницы и ячменя различных сортов и репродукций было отмечено значительное увеличение активности амилолитических ферментов, при экспозиции 0,01 импульсно.

Через несколько дней после обработки активность ферментов, по сравнению с контролем, снижается.

Активность амилолитических ферментов (мг крахмала на 1 г семян в час) в набухших семенах и проростках яровой пшеницы и ячменя в зависимости от экспозиции и сроков обработки семян плазмой

Вариант, экспозиция	Анализ набухших семян	Проанализировано через:		
		2 дня	8 дней	12 дней
Яровая пшеница Иволга (массовая репродукция)				
Контроль	984	930	1188	1091
0,01 сек (импульсно)	1051	956	1177	1143
10 сек (импульсно)	1100	975	1177	1151
10 сек (постоянно)	1100	980	1177	1193
Яровая пшеница Энита (суперэлита)				
Контроль	816	971	1165	1145
0,01 сек (импульсно)	896	962	1100	1172
10 сек (импульсно)	743	914	1096	1051
10 сек (постоянно)	806	978	1186	1172
Ячмень Гонар (первая репродукция)				
Контроль	297	704	882	900
0,01 сек (импульсно)	335	644	772	876
10 сек (импульсно)	287	690	827	892
10 сек (постоянно)	283	660	792	846
Ячмень Гонар (массовая репродукция)				
Контроль	569	845	1014	1067
0,01 сек (импульсно)	629	799	958	978
10 сек (импульсно)	500	896	1073	1079
10 сек (постоянно)	546	802	1008	663

Определение активности каталазы в зависимости от календарных сроков 35

При обработке семян яр. пшеницы сорта Энита плазмой активность каталазы возрастала, если обработка проводилась в период, предшествующий оптимальному сроку высева (19.04). В сухих семенах ячменя сорта Гонар наблюдалась активация фермента каталазы практически при всех сроках обработки, а наибольшая активность отмечалась при импульсном облучении.

В другие календарные сроки облучение плазмой оказало неоднозначное влияние на активность каталазы в сухих и проросших семенах клевера лугового и других изучаемых культур. Это можно объяснить тем, что активация биосистем должна проводиться в те периоды (*точки бифуркаций*), которые совпадают с биологическими ритмами семени.

Активность каталазы (мл O₂ в 1 г семян в час)

в сухих семенах в зависимости от календарных сроков обработки плазмой

Вариант, экспозиция	Календарные сроки				
	12.02	21.02	28.02	4.04	19.04
яровая пшеница Энита					
Контроль	1310	700	840	750	1100
0,01 сек (импульсно)	850	350	710	700	1440
10 сек (импульсно)	1130	610	810	700	1650
10 сек (постоянно)	1300	670	810	680	1600
40 сек (постоянно)	1070	640	740	740	1680
ячмень Гонар					
Контроль	376	340	320	380	420
0,01 сек (импульсно)	370	520	580	380	410
10 сек (импульсно)	432	490	610	450	540
10 сек (постоянно)	360	500	610	410	510
40 сек (постоянно)	393	510	630	450	610

Определение активности амилазы

Расщепление крахмала происходит как внутри клетки, так и внеклеточным путем которое начинается в первые часы набухания семян и снижается на 4 день.

Определение ферментов амилалитического комплекса в семенах клевера проводилось в день облучения плазмой и на третий день прорастания.

При облучении плазмой сухих семян активность амилазы была незначительной, не было выявлено и зависимости от экспозиции обработки. В проросших семенах отмечено увеличение активности амилазы при увеличении экспозиции обработки.

По мере прорастания семян происходит увеличение общей ферментативной активности, в том числе и увеличение активности амилаз. Стимулирующее действие плазмы получено при обработке семян по всем вариантам опыта, а активность амилаз повышается в 2,2-7,8 раза. При этом отмечается более высокая энергия прорастания и сила роста, это говорит о лучшей мобилизации пластических веществ и доступности энергии для развития проростков, а также о более высокой активности ферментов амилалитического комплекса.

Активность амилазы в семенах клевера лугового сорта Смоленский 29 (в мл гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 г семян)

Вариант, экспозиция	1-й день		4-й день	
	сухие семена	% к контролю	проросшие семена	% к контролю
Контроль	0,185	-	0,0125	-
15 сек (постоянно)	0,150	181,1	0,0280	224
30 сек (постоянно)	0,006	103,2	0,0700	560
60 сек (постоянно)	0,006	103,2	0,0840	672
90 сек (постоянно)	0,006	103,2	0,0980	784
120 сек (постоянно)	0,040	121,6	0,0880	704

Важнейшими запасными веществами семени являются белки. Распад белков начинается почти сразу же после набухания семян и осуществляется несколькими группами протеиназ.

Активность протеолитических ферментов определялась в семенах клевера лугового сорта Смоленский 29 на 2, 3 и 5 день после облучения, при этом активность ферментов повышалась по всем вариантам опыта по сравнению с контролем и на пятый день возросла в 1,2-2,4 раза. Данное явление объясняется тем, что, как известно, активный распад белков в прорастающих семенах начинается на 4-5 день прорастания. При этом, в зависимости от времени экспозиции наблюдается как стимуляция, так и ингибирование активности ферментов в вариантах с облучением 15 и 120 секунд.

Активность протеолитических ферментов в семенах клевера лугового сорта Смоленский 29 (мг амидного азота за 1 ч на 1 г семян) при постоянном облучении плазмой

Вариант, экспозиция	1-й день		2-й день		5-й день	
	сухие семена	% к контролю	проросшие семена	% к контролю	проросшие семена	% к контролю
Контроль	1,0	-	1,3	-	3,4	-
15 сек	1,4	140	1,9	146	2,8	82
30 сек	1,4	140	1,8	138	4,1	121
60 сек	1,3	130	3,5	269	3,6	106
90 сек	1,3	130	2,8	215	4,8	141
120 сек	1,7	170	2,1	162	2,5	74

Определение интенсивности фотосинтеза и содержания хлорофилла 38

Продуктивность с.-х. культур в значительной мере зависит от интенсивности фотосинтеза. Этот показатель изменяется под воздействием факторов внешней среды, важнейшими из которых считаются интенсивность освещения, спектральный состав света, концентрация CO_2 и O_2 , температура и водный режим. Важнейшим фактором, отражающим интенсивность фотосинтеза, является количество поглощенной хлорофиллом фотосинтетически активной радиации (ФАР).

1. Содержание хлорофилла в растениях яровой пшеницы, мг/л

Вариант, экспозиция	Хлорофилл			% к контролю
	А	В	А + В	
Колхоз «Правда»				
Контроль	3,12	0,74	3,93	—
0,1 сек	5,46	1,43	6,89	+75
ЗАО «Стригино»				
Контроль	2,76	0,72	3,48	—
0,1 сек	2,97	0,75	3,72	+7



Содержание хлорофилла в растениях яровой пшеницы

2. Динамика интенсивности фотосинтеза яровой пшеницы, мг CO_2 /дм²

Сорт	Вариант, экспозиция	25.06		26.06		
		9 ⁰⁰	12 ⁰⁰	9 ⁴⁵	10 ⁴⁰	12 ⁰⁰
Лада	Контроль	4,44	49,13	7,09	8,99	45,00
	0,1 сек	8,32	79,47	9,54	11,16	98,60
Энита	Контроль	3,86	32,90	5,87	6,86	33,90
	0,1 сек	6,84	37,36	7,55	11,46	34,92

Изучение продолжительности хранения (отлежки) семян после обработки излучениями плазмы

39

Вопрос продолжительности хранения семян после обработки излучениями плазмы (отлежки) крайне важен, так как не всегда удается сразу после обработки произвести посев. При более продолжительном сохранении эффекта от облучения семян возможно увеличение времени работы плазменной установки.

Влияние сроков хранения (отлежки) семян при различных режимах плазменного облучения на величину проростков яр. пшеницы сорта Иволга

Вариант,* время импульсного облучения	Сроки постановки на проращивание после облучения											
	6 день			12 день			18 день			24 день		
	высота колеоптиле, см	длина корешков, см	всхожесть, %	высота колеоптиле, см	длина корешков, см	всхожесть, %	высота колеоптиле, см	длина корешков, см	всхожесть, %	высота колеоптиле, см	длина корешков, см	всхожесть, %
Контроль	4,89	5,86	88	1,79	3,29	68	2,15	2,82	63	4,00	5,10	73
10 сек	2,71	3,39	75	1,63	3,02	68	3,87	4,39	70	4,93	6,09	80
5 сек	3,20	4,12	70	0,68	1,35	60	1,57	2,41	60	4,40	5,17	73
1 сек	4,11	4,75	65	1,88	3,13	58	3,05	3,70	68	4,61	5,95	85
0,5 сек	4,71	5,52	80	1,57	2,33	43	2,30	2,95	63	4,17	5,02	70
0,1 сек	3,27	4,27	73	2,27	3,71	60	2,70	3,15	80	4,35	5,49	65
0,01 сек	4,32	6,17	88	1,09	1,88	65	4,35	4,42	70	3,74	4,24	73
0,01 сек **	4,17	5,83	86	1,15	2,12	70	4,01	4,18	70	3,35	4,00	75

* – семена обработаны при расстоянии от сопла плазмотрона до семян 80 см.

** – контрольный вариант, в котором отлежка происходила в обычных условиях.

Изучение отзывчивости на биоактивацию излучениями плазмы различных сортов и репродукций культур

40

При изучении влияния плазмы на семена важно отметить сортовую специфику действия данного фактора, определяемую специфическим генотипом растений, так как изменения на начальных этапах роста приводят в конечном итоге к изменению продуктивности растений. Для этого была проведена сравнительная оценка разных сортов и репродукций яровой пшеницы по биометрическим показателям (сорта Амир, Иволга, Лада, Энита).

1. Биометрические показатели растений яровой мягкой пшеницы (фаза кущения – начала выхода в трубку) при постоянном облучении плазмой

Сорт	Вариант, экспозиция	Высота растений, см	Площадь листьев, см ²
Лада	контроль	24,5	4,55
	40 сек	22,6	4,87
Амир	контроль	21,9	4,53
	40 сек	20,8	4,83

2. Реакция сортов яровой мягкой пшеницы на постоянную обработку плазмой

Сорт	Вариант, экспозиция	Высота coleoptиле, мм	Длина корней, мм	Масса проростков, мг	Объем корней, см ³
Амир	контроль	11,4	20,8	131	0,55
	40 сек	36,2	56,7	384	1,30
Иволга	контроль	21,8	37,7	298	0,95
	40 сек	52,0	71,6	950	1,80
Лада	контроль	28,0	40,0	257	1,00
	40 сек	58,6	74,7	739	2,10
Энита	контроль	13,3	21,0	175	0,95
	40 сек	65,7	80,1	830	2,15

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ БИОАКТИВАЦИИ СЕМЯН ИЗЛУЧЕНИЯМИ ПЛАЗМЫ НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В течение 1994-2006 годов проводились мелкоделяночные и полевые опыты с различными культурами, в которых изучалось влияние предпосевного облучения семян плазмой на формирование агрорценозов и урожайность яровой и озимой пшеницы, озимой ржи, ячменя, овса, гороха, сои, картофеля, клевера, люцерны, тимофеевки, томата и огурца, зеленных культур.

В опытах было выявлено, что биоактивация семян плазмой ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза растений обеспечивала формирование более мощных растений, формирующих в конечном итоге более высокий конечный результат.

Однако, для разных культур наибольший стимулирующий эффект проявляется при разных экспозициях облучения, и он тем выше, чем менее благоприятными были условия выращивания, а растения испытывали негативное действие природных стрессоров.

За годы экспериментов от применения плазменных технологий прибавка урожая разных сельскохозяйственных культур составляла от 2,5 до 65%.

В виду невозможности привести данные опытов со всеми культурами, приводим результаты опытов с разными по морфологии культурами - яровой пшеницей, картофелем и козлятником восточным.

В полевом опыте, при севе проведенном 9 и 10 мая 2001 года на опытном поле «Смоленской ГСХА» семенами яровой пшеницы сорта Энита изучалась эффективность импульсной обработки семян излучениями плазмы в день обработки и через сутки после облучения.

Опыт проводили на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве на фоне удобрений – $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Измерения высоты растений пшеницы показали, что интенсивность роста растений яровой пшеницы в течении вегетационного периода зависела от срока облучения семян. Посев семенами, обработанными в день обработки, увеличивал высоту растений, а при посеве через сутки высота растений пшеницы уменьшалась.



Высота растений яровой пшеницы сорта Энита

Вариант, экспозиция, срок сева	25.06.2001		10.08.2001		16.09.2001	
	см	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Контроль	60,7	—	63,4	—	65,2	—
1 сек - посев в день обработки	60,8	100,2	68,7	108,4	69,3	106,3
15 сек - посев через сутки	59,2	97,5	62,6	98,7	62,7	96,2
1 сек - посев через сутки	57,6	94,9	57,9	91,3	58,2	89,3

Изучение густоты стояния побегов показало, что плазменная обработка семян пшеницы в день посева повышала интенсивность кущения и сохранность побегов к уборке. Посев семенами, обработанными излучениями плазмы через сутки, снижал эффективность ее действия.

Густота стояния растений яровой пшеницы сорта Энита

Варианты	Дата посева	Полные всходы		Перед уборкой	
		шт/м ²	% к контр.	шт/м ²	% к контр.
Контроль – без обработки	9 мая	334	–	343	–
Посев в день обработки (1-0,01)	9 мая	308	92,2	375	109,3
	10 мая	250	75,0	297	86,6
Посев через сутки (15-10)	10 мая	268	80,2	316	92,1

При обработке семян излучениями плазмы в день посева, так же отмечено положительное влияние на общую и продуктивную кустистость яровой пшеницы.

Густота стояния и кустистость растений яровой пшеницы сорта Энита

Вариант, экспозиция, срок сева	Количество растений, шт/м ²		Кол-во стеблей, шт/м ²	Кол-во колосьев, шт/м ²	Кустистость общая, шт	Кустистость продуктивная, шт
	полные всходы	перед уборкой				
Контроль	334	342,9	397	377	1,16	1,10
1 сек - посев в день обработки	308	375,2	432	406	1,27	1,24
15 сек - посев через сутки	250	296,5	375	364	1,20	1,13
1 сек - посев через сутки	268	315,8	344	318	1,08	1,01

Анализ площади листьев перед уборкой показал, что применение плазменной обработки привело к формированию более мощного листового аппарата и более длительному его функционированию. 44

Таким образом, обработка семян излучениями плазмы может оказывать влияние не только на размеры ассимиляционного аппарата яровой пшеницы, но и на продолжительность его функционирования, при этом больший положительный эффект обеспечивает применение плазменной обработки в день посева.

Площадь листовой поверхности яровой пшеницы сорта Энита

Вариант, экспозиция, срок сева	Площадь листьев в фазу колошения			
	см ² /раст.	% к контр.	м ² /га	% к контр.
Контроль	32,89	—	13070,5	—
1 сек - посев в день обработки	42,30	128,6	17133,1	131,1
15 сек - посев через сутки	35,73	108,6	13386,2	102,4
1 сек - посев через сутки	39,66	120,6	14568,1	111,5

Анализ структуры урожая и урожайности показал, что обработка семян плазмой оказывала положительное действие на длину колоса, массу 1000 зерен и массу зерна в одном колосе.

При посеве семенами, обработанными плазмой в день сева, была получена прибавка урожая в 0,81 т/га. При посеве через сутки после обработки плазмой, были получены более низкие прибавки урожая зерна – 0,62 и 0,76 т/га.

Элементы структуры урожайности яровой пшеницы сорта Энита

Вариант, экспозиция, срок сева	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт	Масса зерна с колоса, г	Урожай, т/га
Контроль	6,4	21,4	0,58	2,22
1 сек - посев в день обработки	7,3	22,0	0,85	3,03
15 сек - посев через сутки	6,4	18,1	0,71	2,84
1 сек - посев через сутки	7,2	20,6	0,73	2,98
НСР ₀₅				0,19

1. Урожайность клубней картофеля в зависимости от сорта и режима облучения плазмой, т/га

Вариант, экспозиция	Сорт		
	Жуковский (ранний)	Елизавета (среднеранний)	Скарб (поздний)
Контроль	20,8	25,1	26,0
2 мин (постоянно)	24,6	31,4	22,0
4 мин (постоянно)	24,4	33,8	22,4
1,5 сек (импульсно)	24,0	30,0	26,8
НСР ₀₅	2,9	2,6	3,5

2. Выход стандартной товарной фракции и средняя масса одного клубня в зависимости от сорта и режима облучения посадочного материала плазмой

Сорт	Вариант, экспозиция	Стандарт, %	Нестандарт, %	Отход, %	Средняя масса одного клубня, г
Жуковский (ранний)	Контроль	69	28	3	87
	2 мин (постоянно)	59	31	10	104
	4 мин (постоянно)	76	18	6	138
	1,5 сек (импульсно)	62	36	2	113
Елизавета (средне-ранний)	Контроль	90	5	4	190
	2 мин (постоянно)	79	7	13	124
	4 мин (постоянно)	87	8	3	127
	1,5 сек (импульсно)	85	10	4	160
Скарб (поздний)	Контроль	32	50	18	70
	2 мин (постоянно)	33	54	13	70
	4 мин (постоянно)	32	53	15	71
	1,5 сек (импульсно)	74	24	2	115

Биохимические показатели качества клубней картофеля (на сырую массу) в зависимости от сорта и режима облучения посадочного материала плазмой

Сорт	Вариант, экспозиция	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Аскорбиновая кислота, %	Общая кислотность, % яблочной кислоты	NO ₃ , мг/кг
Жуковский (ранний)	Контроль	16,3	10,0	8	0,32	160
	2 мин (постоянно)	16,3	10,0	7	0,35	200
	4 мин (постоянно)	17,5	11,1	8	0,32	160
	1,5 сек (импульсно)	18,8	12,2	8	0,32	185
Елизавета (средне-ранний)	Контроль	21,8	15,2	10	0,25	200
	2 мин (постоянно)	21,3	14,6	10	0,24	90
	4 мин (постоянно)	21,3	14,6	10	0,26	30
	1,5 сек (импульсно)	20,0	13,5	10	0,26	65
Скарб (поздний)	Контроль	22,5	15,9	7	0,33	65
	2 мин (постоянно)	21,3	14,6	6	0,34	90
	4 мин (постоянно)	21,3	14,6	6	0,34	55
	1,5 сек (импульсно)	21,3	14,6	6	0,34	50

Специфика козлятника восточного состоит в том, что полноценный урожай он начинает формировать на второй год жизни и, вследствие этого, сложнее проследить ответную реакцию на воздействие, произведенное плазмой на посевной материал.

В год закладки опыта козлятник развивался очень медленно, несмотря на благоприятные условия увлажнения в 2003 году.

При таких условиях на формирование травостоя козлятника восточного сорта Гале заметное влияние оказали изучаемые способы предпосевной обработки семян.

Влияние приемов обработки семян козлятника восточного сорта Гале на густоту стояния, шт. растений на 1 м²

Вариант, способ предпосевной обработки	2003	2004 год		2005 год		2006
	год осень	весна	осень	весна	осень	год весна
Контроль (без обработок)	6	9	38	47	54	63
Скарификация (С)	87	89	92	87	84	81
Инокуляция (И)	11	15	67	74	82	97
Плазма (П) 2 мин (постоянно)	25	27	87	81	84	79
Скарификация + инокуляция	83	85	94	99	112	127
Плазма + инокуляция	31	33	91	97	109	124
Скарификация + плазма	84	88	93	86	83	87
С + П + И	112	107	121	119	114	132

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проведенная экономическая оценка эффективности плазменной предпосевной обработки семян ячменя позволяет говорить о том, что затраты в структуре себестоимости 1 тонны ячменя составляют порядка 50 рублей при приросте финансового результата как минимум на 2000-2500 рублей.

При применении плазмы чистый доход увеличился в 1,9 раза, а рентабельность с 87,6% на контроле без обработки до 160,5%.

Расчеты по определению энергетической эффективности возделывания яровой пшеницы показали, что энергетические затраты на обработку семян плазмой составляют 0,6 ГДж/га, чистый энергетический доход возрос в 1,54 раза в варианте без удобрений, в 1,28 раза – на умеренном фоне минеральных удобрений и 1,84 раза - на органическом фоне

Анализ полученных данных показывает, что обработка посадочного материала картофеля излучениями плазмы по-разному изменяла экономические показатели в зависимости от сорта. При урожайности свыше 20 т/га картофель обеспечивает получение стабильной прибыли. Обработка плазмой увеличивает производственные затраты на 2-5 тыс. руб. в расчете на 1 га. Однако в большинстве случаев получена достоверная прибавка урожая и улучшение экономических показателей.

Проведенный экономический анализ данных показывает, что используемые современные технологии предпосевного облучения семян плазмой обеспечивают стабильную экономическую выгоду.

Так наибольшее влияние на формирование агроценоза козлятника восточного и его продуктивность оказывает совместное проведение скарификации и инокуляции. Однако дополнительная обработка семян плазмой увеличивает продуктивность в первый год использования травостоя на 11,5%, второй – на 4,3%, третий – на 2,0%.

Урожайность сухого вещества агроценозов козлятника восточного сорта Гале в зависимости от приемов обработки семян, т/га

Вариант, способ предпосевной обработки	2004 год	2005 год	2006 год	В сумме за 3 года	В среднем
Контроль (без обработок)	2,04	1,97	3,17	7,18	2,39
Скарификация (С)	3,87	2,53	3,57	9,97	3,32
Инокуляция (И)	3,54	6,74	9,37	19,65	6,55
Плазма (П) 2 мин (постоянно)	3,22	2,89	3,86	9,97	3,32
Скарификация + инокуляция	8,75	9,04	12,24	30,03	10,01
Плазма + инокуляция	4,07	8,21	11,96	24,24	8,08
Скарификация + плазма	3,64	3,21	4,02	10,87	3,62
С + П + И	9,76	9,43	12,49	31,65	10,55
НСР ₀₅	0,83	0,79	0,85		

Проведение данного эксперимента доказало, что при постоянной обработке семян козлятника восточного плазмой в течение 2 мин достигается положительный эффект – урожайность во второй год жизни возрастает на 11,2-34,5%. Большой эффект отмечен, если облучали семена с пониженной всхожестью и при неблагоприятных погодных условиях в период прорастания семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Производственные испытания в 1997-2005 годах проводились в целом ряде хозяйств Смоленской области, а так же в Ростовской области и Краснодарском крае.

Обработка посадочного материала проводилась на лабораторных установках «СУПР-М», «СУПР-К» и мобильном комплексе «АгроПлаза-М».

Параметры облучения во все годы экспериментов были различными и зависели от модификации установок и целей экспериментов.

Во всех производственных опытах, где культуры высевались на площади от 3 до 30 га, получены существенные прибавки и стабильное увеличение урожайности основных сельскохозяйственных культур в 1,2-1,8 раза.

Важные результаты получены в производственных условиях южных регионов России. Так в Краснодарском крае эффективность плазменных технологий оценивалась в ЗАО «Колос» на площади 320 га. Урожай зерна кукурузы (гибрид ЗПСК-360) на контроле составил 3,55 т/га, а при обработке семян импульсными излучениями плазмы в течение 1,5 сек – 4,03 т/га (на 13,5% больше), зеленой массы соответственно 39,29 и 40,38 т/га (на 3% больше). Урожай сои (сорт Дельта) на площади 160 гектаров повысился при применении плазмы с 1,9 до 2,0 т/га (на 5,3% больше).

В Ростовской области импульсными излучениями плазмы в течение 1,5 сек обрабатывались семена подсолнечника в СПК «Целинский» на площадях 510 га в трех отделениях. В первом отделении прибавка урожая семян составила 29,8%, во втором – 7,36% и в третьем – 6,2%.

Эффективность предпосевной обработки семян с-х культур излучениями низкотемпературной плазмы в хозяйствах Смоленской области

51

Год, культура, вид продукции	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
			ц/га	%
1998-2000 годы (среднее) гречиха (зерно)	контроль	8,4	—	—
	плазма	9,9	+1,5	118
1997-1999 годы (среднее) амарант: семена/зел. масса	контроль	5,2/131,2	—	—
	плазма	8,4/196,3	+3,2/+65,1	162/150
2002 год соя (зерно)	контроль	10,4	—	—
	плазма	14,6	+4,2	140
2002 год картофель (фон N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀)	контроль	106,3	—	—
	плазма	186,6	+80,3	175
2004 год лен: семена / солома	контроль	8,06/13,47	—	—
	плазма	24,29/16,98	+16,2/+3,5	301/126
1994-1998 годы (среднее) ячмень (зерно)	контроль	20,2	—	—
	плазма	39,2	+19,0	194
2003 год овес	контроль	34,0	—	—
	плазма	42,4	+8,4	125
2003 год оз. рожь	контроль	25,5	—	—
	плазма	46,0	+20,4	180
2000 год оз. пшеница (зерно)	контроль	22,1	—	—
	плазма	27,6	+5,5	123
2002 год яр. пшеница	контроль	23,3	—	—
	плазма	39,2	+15,9	168
2004-2006 годы (среднее) козлятник восточный (с.в.)	контроль	239	—	—
	плазма	332	+93	139

**Экономическая эффективность применения плазмы
при возделывании ячменя сорта Гонар**

Показатель	Варианты	
	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + плазма
Урожайность, т/га	2,50	3,64
Стоимость произведенной продукции, руб.	12500	18200
Затраты на 1 га, руб.	7998,5	8818,5
Себестоимость 1 т, руб.	3199,4	2422,7
Чистый доход, руб.	4501,5	9381,5
Рентабельность, %	56,2	106,4

**Экономическая эффективность применения плазмы
при возделывании яровой пшеницы сорта Энита**

Показатель	Варианты			
	Конт- роль	Обработка 0,1 сек (импульсно), в день обработки	Обработка 15 сек (постоянно), через день	Обработка 0,1 сек (импульсно), через день
Урожайность, т/га	2,22	3,03	2,84	2,88
Стоимость произведенной продукции, руб.	11100	15150	14200	14400
Затраты на 1 га, руб.	7547,6	8421,2	8387,5	8355,6
Себестоимость 1 т, руб.	3399,8	2779,3	2953,3	2901,3
Чистый доход, руб.	3552,4	6728,8	5812,5	6044,4
Рентабельность, %	84,8	88,0	69,3	72,3

Энергетическая оценка эффективности возделывания яр. пшеницы сорта Энита в зависимости от уровней применения удобрений и плазмы

53

Уровни применения удобрений	Вариант	Затраты энергии на возделывание	Получено энергии с урожаем	Чистый энергетический доход	Коэффициент энергетической эффективности
		ГДж на			
Нулевой, без удобрений	контроль	18,8	56,1	37,3	2,98
	плазма	19,3	76,8	57,5	3,98
Умеренный, N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	контроль	34,3	72,7	38,4	2,10
	плазма	34,9	83,9	49,0	2,40
Органический, 40 т/га	контроль	49,7	83,9	34,2	1,69
	плазма	50,6	113,7	63,1	2,25

Экономическая эффективность применения плазмы при возделывании различных сортов картофеля

Сорт	Вариант, экспозиция	Стоимость произв. продукции, руб.	Затраты на 1 га, руб.	Чистый доход, руб.	Рентабельность, %
Жуковский (ранний)	Контроль	208000	154480,55	53519,45	35
	2 мин (постоянно)	246000	158241,95	87758,05	55
	4 мин (постоянно)	244000	159211,45	84788,55	53
	1,5 сек (импульсно)	240000	155220,32	83779,68	54
Елизавета (средне-ранний)	Контроль	251000	156453,47	94546,53	60
	2 мин (постоянно)	314000	161917,45	152082,55	94
	4 мин (постоянно)	338000	164559,80	173440,20	105
	1,5 сек (импульсно)	300000	159223,58	140776,42	89
Скарб (поздний)	Контроль	238000	156980,45	81019,55	52
	2 мин (постоянно)	198000	155417,23	45582,77	27
	4 мин (постоянно)	199200	157380,00	41820,00	26
	1,5 сек (импульсно)	240000	158127,45	81872,45	52

ВЫВОДЫ

1. Теоретическое обоснование и научно-практические исследования проблемы предпосевной плазменной биоактивации семян и посадочного материала различных сельскохозяйственных культур позволило разработать методологические и агробиологические основы биологического действия излучений низкотемпературной плазмы (в сочетании с действием УФ видимой и ИК области спектра) на биообъекты.

2. Исследованы механизмы влияния излучений низкотемпературной плазмы на стартовые этапы прорастания семян и начальные фазы онтогенеза растений, дана оценка спектров эффективного поглощения плазмы и люминесценции семян различных сельскохозяйственных культур после их облучения.

С помощью ЭПР показано, что воздействие плазмы приводит к генерации свободных радикалов, молекулярная структура которых отличается от контроля. Выявлены параметры характерных спектров люминесценции облученных семян, позволяющие оценить наличие эффекта биостимуляции на начальных этапах прорастания семян.

Установлено, что облучение семян ячменя, яровой пшеницы, клевера лугового и других культур в стимулирующих экспозициях приводит к повышению ферментативной активности каталазы (по сравнению с контролем) в 1,7-2,0 раза, амилазы – 2,0 и более раз, протеолитических ферментов – в 1,2-2,4 раза.

Показано, что обработка семян при стимулирующих экспозициях увеличивает интенсивность фотосинтеза более чем в 1,8 раза, а дыхания растений на 65-70%.

3. Установлено наличие стимулирующего эффекта плазменной обработки семян на темпы роста coleoptилей и зародышевых корней, а также показателей лабораторной всхожести семян.

Показано, что для семян различных культур и сортов стимулирующий эффект помимо экспозиции зависит и от спектрального состава плазмы и максимально проявляется в диапазоне 360-400 нм.

4. Разработаны плазмотроны сельскохозяйственного назначения, изготовлены экспериментальные лабораторные установки «СУПР-М» и «СУПР-К», исследованы параметры их спектрального состава и потока излучения плазмы, оптимальные для проявления эффекта стимуляции потенциальной продуктивности семян и урожайности для различных сельскохозяйственных культур.

Создан специализированный мобильный комплекс «АгроПлаза-М» для обработки плазмой производственных партий семян зерновых культур.

5. Установлено, что:

- при постоянном облучении плазмой большинства видов и сортов растений эффект стимуляции показателей продуктивности достигается при экспозициях в диапазоне 40-60 сек. При этом урожайность ячменя, яровой пшеницы и ржи повышается в 1,3-1,6 раза, льна в 1,5-1,7 раза, а для других культур возрастает в 1,2-1,8 раза;

- при импульсной обработке семян различных культур эффект биостимуляции проявляется при экспозиции в течение 0,01 сек. Данная экспозиция, при использовании для импульсного воздействия специально сконструированного обтюлятора, оказалась наиболее оптимальной при разработке высокопроизводительных предпосевных производственных плазменных технологий для различных с/х культур.

6. Выявлена зависимость эффекта стимуляции от сроков хранения семян после плазменной предпосевной обработки.

Показано, что семена, после воздействия плазмы сохраняют эффект стимуляции по показателям их потенциальной продуктивности в течение 2-3 дней, затем наблюдается некоторое снижение эффекта, которое частично восстанавливается на 21-23 день после облучения.

Установлено, что семена после обработки плазмой можно хранить в обычных условиях без их изоляции от внешнего ЭМП.

7. На основе разработанных технологий предпосевной плазменной обработки семян и посадочного материала различных с/х культур, предложены приемы регулирования показателей структуры урожая за счет стимуляции темпов роста растений и их корневых систем, увеличения полевой всхожести и выживаемости растений.

В результате чего обеспечивается не только увеличение урожайности, но и улучшение фитосанитарного состояния посевов, качества растительной продукции, повышение ее устойчивости к болезням. Это позволяет, используя плазменные технологии, снижать дозы агрохимикатов и тем самым уменьшать антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Выявленные закономерности позволили установить:

а) для зерновых культур применение облучения плазмой обеспечивает рост урожайности на 10-47% и улучшает качество выращенной растительной продукции;

б) для семян многолетних бобовых трав (козлятника восточного и клевера лугового) обработка плазмой приводит к увеличению урожайности во второй год жизни на 11,2-34,5%, при неблагоприятных погодных условиях эффект стимуляции выражен более отчетливо;

в) для семян льна предпосевная обработка плазмой оказывает достоверное положительное влияние на урожайность семян и качество волокна. Применение факторного анализа позволило выявить степень влияния параметров облучения на эффект стимуляции, а именно: экспозиция определяет увеличение высоты растений на 12,7%, расстояние от сопла – на 10,4%, а электромагнитное поле на 49,3%.

Наибольший стимулирующий эффект получен при импульсном облучении с экспозицией 1 сек и расстоянием от сопла 10 см. При этом показатели густоты стояния растений возрастают на 31-36%, высоты на 11-13%, технической длины стебля на 15-16%;

г) для семян гороха плазменная обработка ускоряет рост стебля в высоту и толщину, увеличивает количество семян с растения, урожайность увеличивается на 17% и составляет 2,94 т/га;

д) для семян тепличных культур огурца и томата предпосевная обработка плазмой повышает урожайность по сравнению с контролем в 1,6 раза, а количество нестандартной продукции не превышает 8%. Количество нитратов в продукции при этом снижается с 707,6 до 235,6 мг/кг;

е) для клубней картофеля предпосевная обработка плазмой приводит к росту урожая картофеля, повышению содержания в клубнях сухого вещества и крахмала, увеличению до 91% доли товарных клубней. Максимальный эффект прибавки урожая получен при экспозиции 180 сек постоянного облучения и составил 10,2 т/га.

8. Сравнительная оценка стимулирующих экспозиций и режимов обработки посевного и посадочного материала для различных сельскохозяйственных культур показала, что специфика действий излучения плазмы зависит от морфологии и размеров семян, состава запасных веществ и отражательной способности семян и клубней.

9. Установлена высокая эффективность плазменной обработки в производственных условиях больших партий семян зерновых культур на мобильной плазменной установке «АгроПлаза-М»:

- для семян ячменя, пшеницы и овса прибавка урожая варьировала в диапазоне от 22 до 80%, для семян кукурузы составила 13,5%, для семян сои – 5,3% и для семян подсолнечника варьировала от 6,2 до 29,8%.

10. Оценка экономической эффективности приема предпосевной плазменной обработки семян зерновых культур позволяет говорить о том, что затраты в структуре себестоимости 1 тонны зерна составляют порядка 50 рублей при приросте финансового результата как минимум на 2000-2500 рублей.

При применении плазмы чистый доход увеличился в 1,92 раза, а рентабельность с 87,6% на контроле без обработки, до 160,5% при облучении плазмой.

При обработке семян плазмой чистый энергетический доход возрос в 1,54 раза в варианте без удобрений, в 1,28 раза – на умеренном фоне применения минеральных удобрений и 1,84 раза – на органическом фоне.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур излучениями низкотемпературной плазмы обеспечивает формирование более устойчивых и продуктивных агроценозов. Для обработки семян зерновых культур наиболее эффективным является импульсное облучение в течение 0,01 сек, для клубней картофеля – 2-4 минуты постоянным облучением.

2. Созданная мобильная установка «АгроПлаза-М» обеспечивает возможность обработки крупных партий семян зерновых культур при проведении посевных работ.

3. Посев семенами, обработанными излучениями плазмы, необходимо проводить стандартными способами в течение суток со дня обработки.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Кукуруза (гибрид ЗПСК-360)

Соя (сорт Дельта)



ЗАО «Заря»

ЗАО «Колос»

Подсолнечник (Ростовская область СПК «Целинский»), 2006 г.

60





Лен (опытное поле «Смоленская ГСХА»), 2003 год





Огурцы - общий вид опыта



Огурцы - слева плазма, справа - контроль



Томаты - плазма



Томаты - контроль

Зеленные культуры (СПК «Козинский тепличный комбинат»), 2005 год

Результаты опытов с зелеными культурами показали, что облучение семян плазмой повысило содержание в листьях сухого вещества на 6–16% и каротина в 3–5 раз, повысилось содержание и аскорбиновой кислоты. Также выявлена существенная прибавка урожайности биомассы на 13-16%.

Содержание нитратов в продукции зависело от облучения незначительно.



Общий вид теплиц СПК «Козинский»



укроп



фенхель



петрушка



кориандр

Яр. пшеница (колхоз «Правда»), 2002 г.



Оз. рожь (колхоз «Правда»), 2003 г.





Корневая система проростков озимой ржи

плазма контроль