

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

На кафедре физики СВЧ ХИРЭ, а затем на кафедре ФОЭТ ХГТУРЭ в течение 20 лет изучалось воздействие СВЧ-излучения на различные активные и пассивные среды. В последние годы эта работа велась в направлении исследования действия СВЧ на биологические объекты, в частности - на семена зерновых культур. В исследованиях участвовали, кроме авторов, доц. А. А. Конгарь, а также сотрудники Института растениеводства имени академика В. Я. Юрьева. Последние предоставили семенной материал (зерна пшеницы различных сортов, овса, ячменя), обеспечили полевые испытания облученных и контрольных семян, участвовали в обсуждении полученных результатов и выработке направления и плана дальнейших исследований.

Не приводя данных экспериментов и их анализа, которые уже были опубликованы [1 – 5], укажем, что получены весьма интересные результаты, которые могут быть успешно использованы в процессе сельскохозяйственного производства. Однако необходимо повторение ряда экспериментов с целью повышения достоверности полученных данных. Нужно разобраться в сути происходящих при облучении семян процессов и, наконец, пройти стадию постепенного перехода от лабораторных исследований к масштабным полевым испытаниям. Только в таком случае можно надеяться на успешное внедрение результатов нашей работы.

Нужно заметить, что воздействие СВЧ-излучения на семена злаков изучалось рядом авторов, в частности, [6, 7, 8].

Однако вопрос настолько сложен, что полученные результаты требуют развития и дополнения, причем, для его разработки нужно расширить круг используемых методов и перечень применяемой аппаратуры.

Мы предполагаем применять различные биохимические и биофизические методы исследований. Именно о последних и будет идти речь в данной статье. Но перед тем, как разворачивать работу, нужно тщательно изучить достоинства и недостатки каждого метода. Сопоставляя их, можно будет выбрать те из методов, которые способны дать наиболее ценную информацию и ответить на интересующие нас вопросы.

Отметим, что многие из рассматриваемых ниже электрофизических методов имеют прямое отношение к радиофизике, поскольку в их осуществлении участвует радиоэлектронная аппаратура. Кроме того, и само направление исследований воздействия СВЧ-излучения на вещество, в данном случае биологическое, включено в соответствующий план, предполагающий после СВЧ-диапазона переход к изучению воздействия на вещество оптического (лазерного) излучения.

Естественно, что, рассматривая лишь литературные данные, мы не имеем возможности надежно оценить все плюсы и минусы того или иного метода. Для такой оценки необходимо изучить применяемую аппаратуру, технику проведения экспериментов с ее участием, технические трудности, точность и чувствительность применяемых приборов и т. д. Все эти вопросы мы надеемся выяснить в недалеком будущем. По-видимому, понадобятся и консультации специалистов как по аппаратурной части, так и по методике работы, планированию экспериментов, оценке погрешностей.

А теперь дадим краткое описание методов, которые могут быть применены. Возможно, данная публикация является в некоторой степени попыткой «вызвать огонь на себя»: если на нее обратят внимание специалисты и если они найдут возможным и нужным установить контакты с авторами.

Еще со времен Л. Гальвани известно о существовании так называемых «токов повреждения». Срезы листьев, стеблей, клубней растений заряжаются положительно по отношению к нормальной, целой ткани. Электрические явления сопровождают и многочисленные процессы жизнедеятельности растений: фотосинтез, дыхание. При распаде некоторых растительных тканей их потенциал резко возрастает. Например, присоединив к клубню картофеля электроды гальванометра, мы не увидим отклонения стрелки. Но если в клубне есть загнивание, он становится своеобразной электрической батареей. В обычных условиях она разряжается без подключения к «потребителю».

Поскольку любой разряд создает помехи в эфире, этот шум можно регистрировать. Его интенсивность чрезвычайно мала, и электромагнитные сигналы нужно усиливать (вплоть до их восприятия через динамик на выходе приемника, либо для визуального наблюдения на экране осциллографа).

Свежий неповрежденный клубень картофеля шумового излучения не производит. Появление шумового сигнала свидетельствует о патологических процессах: начале загнивания либо механическом (химическом, электрическом, радиационном) воздействии на растение [9].

Несомненно, все сказанное может быть отнесено не только к картофелю, но и к семенам других растений, в частности, злаковых культур. Таким образом, можно предполагать, что изменения в клеточной структуре семян будут свидетельствовать о происходящих в них процессах при различных внешних воздействиях. Таким путем мы сможем представить себе картину происходящего и на ее основании сделать важные и интересные теоретические и практические выводы.

Перейдем теперь к вопросу о производимом растениями (и семенами) излучении в радиодиапазоне. Оно может быть обнаружено, зарегистрировано и изучено радиометрическими методами, достаточно хорошо разработанными для разнообразных применений. Излучение охватывает широкий диапазон частот и зависит от температуры: с ее ростом спектр расширяется, охватывая больший диапазон частот, а его максимум смещается в сторону более высоких частот. При температуре 300 К (температура человеческого тела) наибольшая интенсивность излучения будет на длине волны 10 мкм, т.е. в диапазоне инфракрасных волн (ИК-диапазоне) [10].

ИК-диапазон очень хорошо обеспечен серийно выпускаемой аппаратурой, в том числе радиометрами (высокочувствительными приемниками с индикаторными устройствами для визуального наблюдения). На экране такого тепловизора может быть получено как черно-белое, так и цветное изображение, причем, можно ввести цветовые градации, позволяющие немедленно представить тепловую картину объекта с необходимой точностью различения температур отдельных участков.

Подобная техника уже в течение десятков лет применяется в медицине для определения повреждений суставов, тканей, а также для обнаружения злокачественных новообразований, температура которых отличается от температуры окружающих здоровых тканей. При этом по длине волны излучения, регистрируемого термографом, можно определять и глубину нахождения очага поражения в теле тканей. На изображение могут быть нанесены изотермы [11].

Интенсивность в максимуме излучения, находящемся, как было указано выше, в ИК-диапазоне, при переходе, например, к типичной волне СВЧ-диапазона (10 см) снижается весьма значительно, примерно в 10^8 раз.

Высокочувствительные приемники, имеющиеся в диапазоне СВЧ, требуют для своей работы глубокого охлаждения, примерно до 20 К, что сильно усложняет и удорожает их конструкции и затрудняет условия эксплуатации.

При работе вблизи максимума теплового излучения (6-10 мкм) изменение температуры объекта на 1 К приводит к изменению интенсивности излучения на 2,4%, благодаря чему могут различаться участки с температурой, отличающейся всего на 0,1 К, т.е. можно работать с участками объекта, имеющими размеры в доли мм.

С другой стороны, радиометрическая аппаратура, установленная на самолетах или спутниках, позволяет изучать объекты больших размеров: наблюдать степень зрелости хлебов, поражение леса вредителями, загрязнение водной поверхности, соленость воды и т. п. Спутниковая (и вообще космическая) радиометрия простирается от изучения облачного покрова, его состояния и динамики, необходимого для предсказания погоды, до космических масштабов - планет и звезд, входящих в «компетенцию» радиоастрономии и астрофизики [12].

Самолетные радиометрические исследования показали, что в сантиметровом диапазоне интенсивность излучения различных растений неодинакова: можно отличить пшеницу от ячменя, овса, клевера, люцерны, кукурузы, подсолнечника, хлопчатника. Очевидно, здесь основную роль играют, так сказать, «макроскопические» факторы – густота посевов, размеры и форма листьев, особенности устройства растений. Но, развивая эту идею и переходя к меньшим, в том числе микроскопическим масштабам, можно надеяться на возможность получения соответствующей информации и об интересующих нас объектах- семенах, в частности, злаковых культур. Во всяком случае, оценивать их влажность, состояние развития, а возможно, и некоторые биофизические и биохимические параметры [15].

Рассмотрим теперь излучение растений в оптическом диапазоне. Еще три века назад физик Р. Бойль, изучая биолюминесценцию (свечение биологических объектов) [14, 15, 16] обнаружил, что ее интенсивность зависит от содержания кислорода и при его отсутствии падает до нуля. В дальнейшем при изучении процесса фотосинтеза водорослей было обнаружено слабое свечение при поглощении света хлорофиллом и установлено, что азотистые вещества, входящие в состав растительных белков, в результате окисления дают видимое излучение, происходит так называемая хемилюминесценция [17]. Она обусловлена соединением сложных химических веществ - люцифера и люциферазы в при-

сутствии кислорода»

Известны исследования, проведенные еще в 1933 году В. В. Лапшениным. Он изучал свечение растений с помощью фотопластинки и обнаружил, что регистрируется не постоянное излучение, а лишь его вспышка в момент гибели растения (например, при высыхании).

Поскольку интенсивность излучения при хемиллюминесценции составляет около десяти квантов в секунду с площадки в 1 см², дальнейшее углубленное изучение этого явления стало возможным лишь с применением высокочувствительных фотоприемников.

Хемиллюминесценция растений наблюдается в сине-зеленой области спектра, а также в ультрафиолете. Ее интенсивность, обычно более-менее постоянная, зависит от температуры объекта и очень резко меняется при достижении «пороговых» (для данного вида клеток) значений, связанных с температурной гибелью клеток вследствие разрушения липидных структур при высоких или низких температурах [18].

Исследования семян зерновых культур (пшеницы, ячменя и др.) позволили оценить их морозоустойчивость и засухоустойчивость и поэтому сразу же нашли практическое применение в сельскохозяйственном производстве. Несомненно, что хемиллюминесценция сможет быть методом изучения процессов, происходящих в интересующих нас объектах – семенах.

В процессе мутаций искажается записанная в гене последовательность аминокислот, состоящих из белковых молекул, что отражается на их электрическом заряде. Вследствие этого будет меняться сила, с которой на данные молекулы может воздействовать внешнее электрическое поле, и если частицы движутся, по их движению можно оценить влияние поля.

Прибор для исследования, содержащий стеклянный контейнер, помещен между двумя электродами (конденсаторе). В контейнере имеется гель – водный раствор крахмала, который, застывая, образует желе. На его поверхности делаются маленькие луночки для помещения исследуемых семян, окрашенных, чтобы их перемещение можно было легче наблюдать под микроскопом. При создании между электродами электрического поля белковые частицы, двигаясь в вязкой массе, перемещаются с различной скоростью, зависящей от заряда частицы. Так можно выделить частицы с иными генетическими свойствами (мутировавшие) и определить, выходит ли их процент за допустимые пределы, т.е. достигается ли критический уровень мутаций, а значит и недопустимые биосферные изменения – внешние воздействия. Этот эксперимент весьма важен, так как позволяет исследовать слабые, медленно текущие мутационные процессы, и прогнозировать изменения данного вида растений.

Неблагоприятные экологические воздействия, связанные с загрязнением окружающей среды, являются мутагенными факторами. Мутации, с одной стороны, являются инструментом эволюции, но с другой стороны, могут приводить к вредным изменениям, искажая генетические свойства в процессе развития. При оценке влияния мутаций важно определить их частоту, которая не должна выходить за определённые пределы. Биостат, позволяющий сделать это, был разработан в лаборатории лесоведения АН СССР [19]. Объектом тестирования были семена сосны, поскольку сосна больше других пород деревьев чувствительна к биосферным колебаниям.

Описанные эксперименты могут быть произведены и с семенами интересующих нас злаковых культур, в частности, подвергнутыми воздействию СВЧ-поля. Это позволит оценить как полезное, так и вредное действие облучения (и других сопровождающих его факторов) на семена и на основании этого планировать дальнейшие исследования.

Изложенный выше материал показывает, что известно немало методов, с помощью которых возможно исследование интересующей нас проблемы. Они помогут разобраться в сути процессов, происходящих в семенах злаковых культур при их обработке энергией СВЧ, при хранении, прорастании и на других стадиях производственного цикла. Какие из перечисленных методов будут использованы в наших дальнейших исследованиях зависит, главным образом, от аппаратных возможностей, ибо сложная и дорогая аппаратура, в основном электро- и радиофизическая, не всегда имеется в наличии. Кроме того, в ходе экспериментов должны быть определены сравнительные достоинства и недостатки различных методов, из которых предстоит выбрать наиболее эффективные и приемлемые в наших условиях. Это позволит в намеченные сроки закончить запланированную работу по исследованию воздействия сверхвысокочастотного излучения на биологические среды.

Список литературы: 1. Пат. №97730 А (Україна) МПК А01С 1/02. Спосіб визначення схожості насіння / ХДТУРЕ. Діндорого В. Г., Контар О. Я., Марков Д. В., Склярєвський К. Н. Опубл. 15.05.2001 г. Бюл. № 4. 2. Контар А. А., Марков Д. В., Терещенко А. И., О воздействии СВЧ – излучения на некоторые биологические объекты //Радиотехника. 1999. №111.С. 68 –70. 3. Терещенко А. И., Контар А. А., Марков Д. В. Воздействие

СВЧ – излучения на семена зерновых культур // Мат. 5 – й Межд. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Харьков: 1999. С. 262 – 263. 4. *Контарь А. А., Марков Д. В., Терещенко А. И.* Активизация развития споровых под действием СВЧ- энергии. // Мат. 6 –й Межд. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Харьков: 2000. С. 542 –543. 5. *Діндорого В. Г., Контар О. Я., Марков Д. В., Склярєвський К. Н., Терещенко О.І.* Дослідження НВЧ – обробки озимої пшениці. // Зб. “Селекція і насінництво”. Харків: С.87-92.6. *Шахбазов В. Г. и др.* Влияние микроволн на прорастание чистотлинейных и гетерозисных семян кукурузы. Деп. раб. ЦК ВИНТИ, № 1562-70 14 с. 7. *Бородин И. Ф., Вендин С. В., Горин А. Д.* Электрoмагнитные поля на службе у полевода // Зерновые культуры. 1992. № 5 – 6.С. 6. 8. *Бородин И. Ф., Горин А. Д.* Изменение схожести семян зерновых культур под влиянием СВЧ-обработки. // Докл. Российской Академии с.-х. наук. 1993. №2. С. 92-94. 9. *Зигуненко С.* С поля – на стол. // Юный техник. 1983. №12. С. 6-10. 10. *Blanco J.B., Romero-Sierra C.*, Colour thermography: their application to biological systems under microwave radiation exposure. // “Microwave Power Symposium”. 1975. P. 232-239. 11. *Hindin H.J.* Microwave probe for cancer cells. // Microwaves. 1976. 15, №3 P. 10, 14. 12. *Инфракрасная и СВЧ-радиометрия* // ТИИЭИР, 1961. Т. 49, №2. С. 13-19. 13. *Наука и человечество.* 1985. С. 341-343. 14. *Мак-Зарой У.Д. и Зандер Г.Г.* Происхождение и эволюция биоллюминесценции // Горизонты биоллюминесценции. Пер. с англ. М. 1964. С. 32-35. 15. *Биоллюминесценция* : Сб. ст. М. 1965. С. 91-102. 16. *Биоэнергетика и биологическая спектрофотометрия.* М. 1967. 264 с. 17. *Левшин В.Л.*, Фотоллюминесценция жидких и твердых веществ. М. – Л. 1951. 18. *Геркон В.* На службе – живой свет. ((“Юный техник”. 1989. №11, С. 28-29. 19. *Рувинский А.* Тайна соснового семечка. // Юный техник. 1985. №8. С. 28-30.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 11.09.2001