



**Институт прикладной физики**  
Российской академии наук



**Нижегородский  
государственный  
университет  
им. Н. И. Лобачевского**

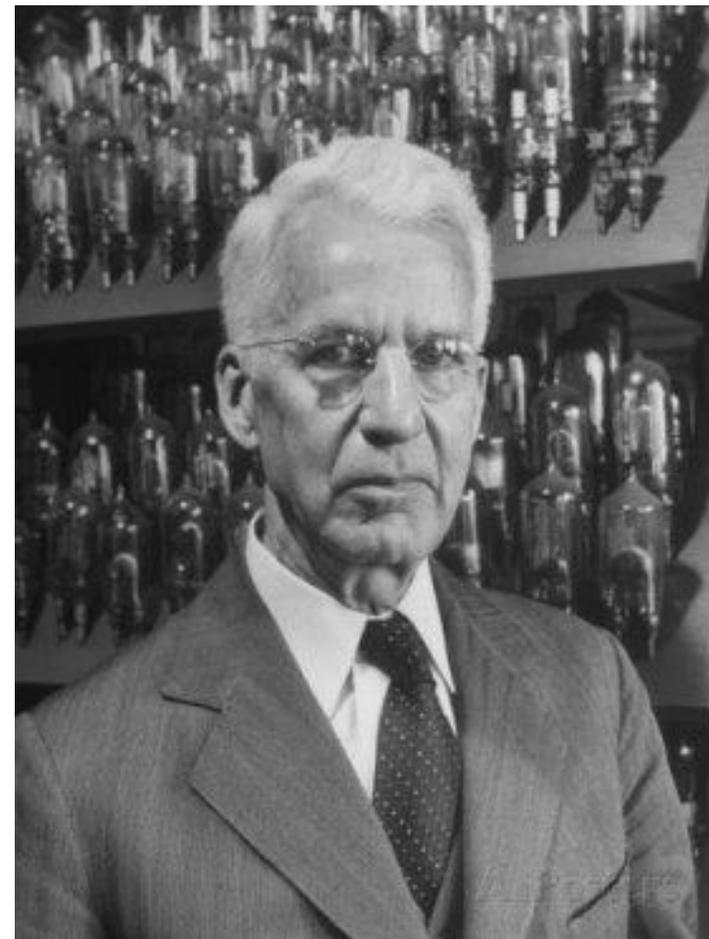
**Развитие прикладных исследований по применению  
сверхвысокочастотного излучения  
(на примере пиролиза торфа)**

**Крапивницкая Т.О.**



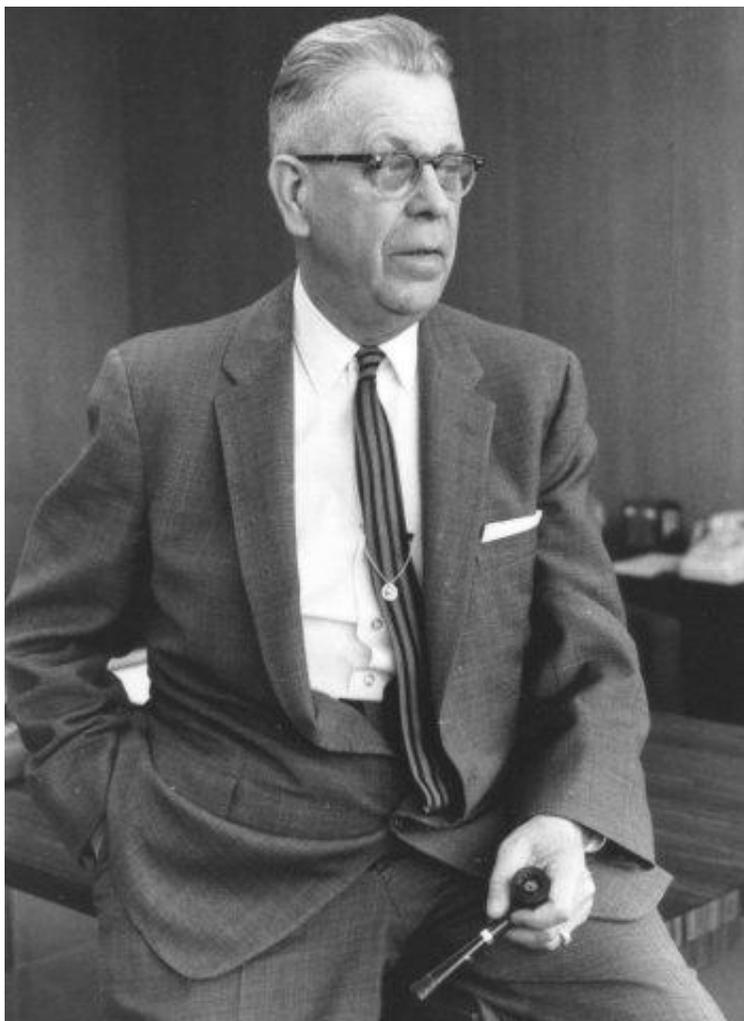
Попов Александр Степанович  
1859-1905 г.

Гульельмо Маркони  
1874-1937 г.

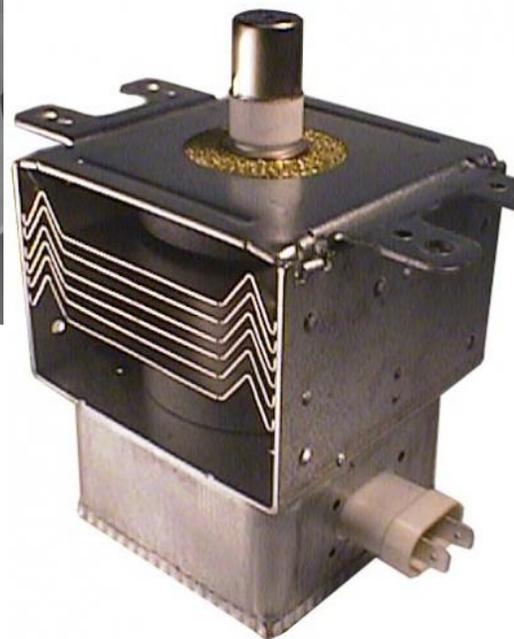


Альберт Уоллес Халл  
1880-1966 г.

Первая в мире СВЧ-печь «Radarange»  
была выпущена в 1947 году фирмой  
Raytheon



Перси Лебарон Спенсер  
(1894-1970 г.)



## Основные преимущества применения СВЧ-энергии для сушки древесины:

- 1) высокая степень поглощения древесиной энергии электромагнитного поля СВЧ (за счет того, что древесина – влажный материал);
- 2) возможность с высокой скоростью подвести и выделить в единице объема древесины мощность, не доступную ни одному из традиционных способов подвода энергии;
- 3) осуществление бесконтактного избирательного нагрева и получение требуемого распределения температур в древесине, в том числе в режиме саморегулирующегося нагрева;

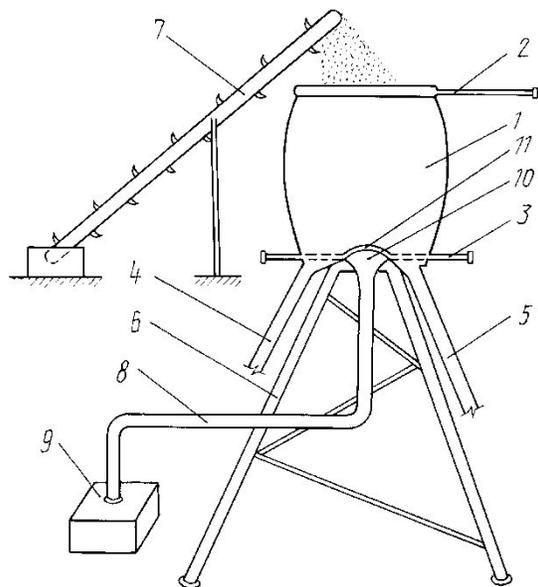


## СВЧ сушка древесины



- 4) практически 100 % КПД преобразования СВЧ-энергии в тепловую, выделяемую в нагреваемом материале, низкие потери энергии в подводящих трактах и рабочих камерах;
- 5) возможность мгновенного включения и выключения теплового воздействия, что обеспечивает режим тепловой безынерционности и высокую точность регулирования нагрева.

## СВЧ сушка зерна



### Параметры источника СВЧ

#### излучения:

Частота излучения: **2,45 ГГц**

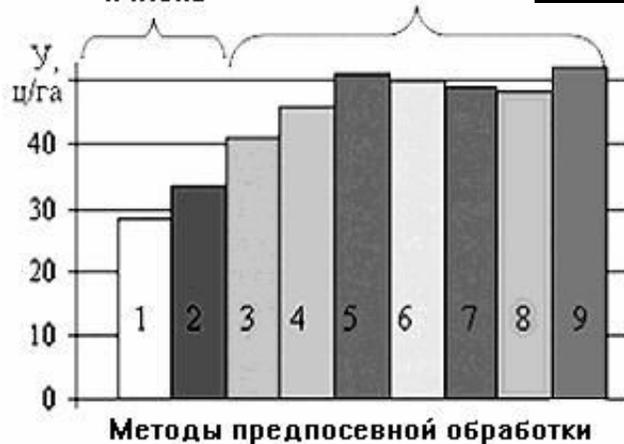
Частота повторения импульсов: **400 Гц**

Длительность импульса: **2 мкс**

Средняя мощность: **1000 Вт**

### Урожайность зерновых при различных методах предпосевной

ячмень пшеница ПОДГОТОВКИ



- 1, 4 - протравливание;
- 2 - СВЧ-обработка;
- 3 - без обработки;
- 5 - СВЧ-обработка;
- 6 - СВЧ+озонированная вода;
- 7 - конвективно+озонированная вода;
- 8 - озоновоздушная смесь;
- 9 - СВЧ+солевой раствор

Название технологии	Область применения	Преимущества
Комбинированная сушка зерна и семян	Послеуборочная доработка семян и зерна сельскохозяйственных культур с целью дальнейшего их длительного хранения и дальнейшего использования	Интенсификация влаго-съемы на 5,3-13,2 %; уменьшение микротравмирования зерна за счет более мягкого режима сушки на 2,6-6,2 %; повышение посевных свойств семян на 5-6 %; снижение удельных затрат энергии на 29,4-32,3 %
Предпосевная стимуляция и обеззараживание семян	Улучшение посевных свойств семян и их обеззараживание от возбудителей болезней	Увеличение всхожести семян на 10-12 %; повышение урожайности до 20-30 %; снижение энергоёмкости и материалоемкости в 3-5 раз
Улучшение хлебопекарных качеств продовольственного зерна и муки	Тепловая обработка продовольственного зерна и муки с целью улучшения их хлебопекарных свойств	Укрепление клейковины в зерне в 1,3 раза; увеличение влагопоглотительной способности теста на 5 %; уменьшение степени разжижения теста на 10 е.ф.; улучшение общей валориметрической оценки на 19 %; увеличение объёмного выхода хлеба на 37 %.
Производство высокопитательных быстро приготавливаемых зерновых продуктов, повышение кормовой ценности фуражного зерна	Высокоинтенсивная тепловая обработка продовольственного и фуражного зерна и зерновых продуктов (круп) с целью улучшения их питательных свойств	Увеличение степени декстринизации нативного крахмала до 50 % и выше; повышение усвояемости зерна и зерновых продуктов на 30-40 %, увеличение развариваемости круп в 5-10 раз; снижение удельных затрат энергии в 1,5-1,8 раза

## Борьба с сорной растительностью и обеззараживание почвы при помощи СВЧ

Эксперименты по обработке почвы установкой «Импульс-1» показали, что ростовыми процессами и всхожестью семян сорной растительности, плодородием почвы и урожаем культуры можно управлять с помощью импульсного потока электромагнитной энергии, а биотропные параметры, характеризующие его пространственно-временную структуру, являются эффективными регуляторами этих процессов.



## Микроволновая дезинсекция



### Достоинства СВЧ дезинсекции:

- простота управления
- безинвазивность, безвредность
- нет химических остатков
- безопасно для окружающей среды
- эффективность при любых условиях
- полностью контролируемый процесс
- работа при любых температурных условиях
- безопасность оборудования и работ
- обработка возможна через диэлектрические материалы - штукатурка, кирпичная кладка, гипсокартон, обои, пластик, лак, краска и др. комбинировано, так же мебель, деревянные рамы, иконы, книги

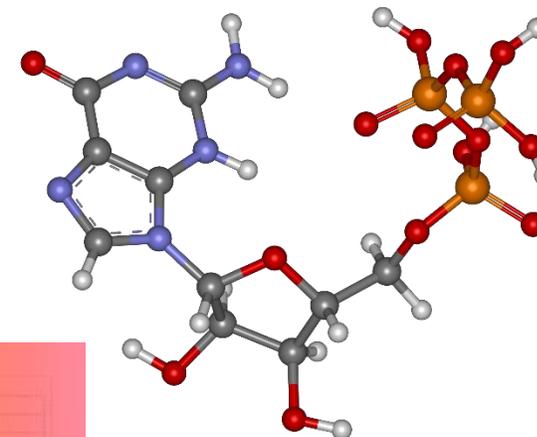


## Применение микроволнового излучения в химии

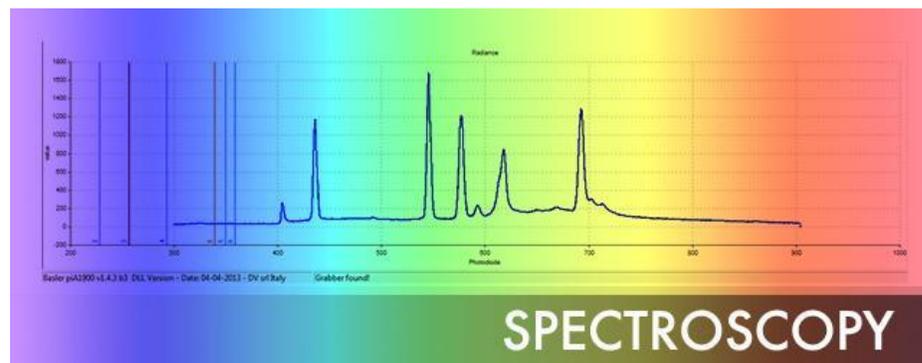
Микроволновая пробоподготовка



Синтез органических соединений



Микроволновая спектроскопия



Лидеры производства микроволновой техники «SEM» (США), «Milestone» (Италия), «Prolabo» (Франция), «Panasonic» (Япония), «LG» (Южная Корея), «Toshiba» (Япония), «Samsung» (Южная Корея)

## Торф - это огромный возобновляемый сырьевой ресурс

**Торфяные месторождения** – это естественные биологические системы, находящиеся в стадии непрерывного роста.

**Торф** – это возобновляемый природный биоресурс, который образуется в результате естественного отмирания и неполного распада болотных растений под воздействием биохимических процессов в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода.

Запасы торфа в России	175,6 млрд. тонн	35% от мировых запасов
Площадь торфяных месторождений в России	56,8 млн.га	1 место в мире
Площадь осушенных и заброшенных в 90-х годах месторождений	70 000 Га	На этой площади можно добывать до 20 млн.тонн торфа в год
Площадь обрабатываемых месторождений в 2013 г.	6 000 Га	
Ежегодный объем добычи торфа в России	2 млн.тонн	Добыча торфа в советские годы достигала 160-180 млн.тонн
Ежегодный прирост балансовых запасов	250 млн.тонн	Это примерно 70 млн. т.у.т



Топливо	млрд. т.у.т.
уголь	97,0
торф	68,3
нефть	31,0
газ	22,0
древесина	14,4

Запасы торфа составляют **68 млрд. т.у.т.** и превышают энергетический потенциал российских запасов газа и нефти вместе взятых.

# Свойства и области применения торфа

*Торф — это горючее полезное ископаемое, продукт неполного разложения растительной массы в условиях избыточной влажности и недостаточной аэрации*

Торф используют в сельском хозяйстве и животноводстве, медицине, биохимии и энергетике

## ТИПЫ



## СОСТАВ

- Гуминовые кислоты, активирующие рост растений
- Растительные волокна, улучшающие водно-воздушное состояние почвы
- Элементы минерального питания — азот, калий, фосфор, кальций, железо, магний, микроэлементы

## СВОЙСТВА

**Высокая влагоемкость:**  
1 кг торфа может удержать до 20 л жидкости

1–3%  
Азот

0,1–1,5%  
Сера

5–6,5%  
Водород

50–60%  
Углерод

30–40%  
Кислород

Кислород позволяет торфу гореть без доступа воздуха

## ЧТО ДЕЛАЮТ ИЗ ТОРФА?

- Топливо
- Плодородные грунтовые смеси и удобрения
- Среду для хранения овощей и фруктов
- Изоляционные материалы
- Упаковочные материалы
- Поглотители (активированные угли, применяемые в ассенизации, сахарном и винокуренном производствах)
- Торфяной кокс, применяемый в кузнечном деле и металлургии
- Лекарственные средства

**Пиролиз** – термическая деструкция исходного вещества без доступа кислорода.

**Возможные направления пиролиза:**

Органические отходы (опилки, авторезина и др.), Биотопливо, Торф и др.

«Мягкий» пиролиз с получением сорбента

«Жесткий» пиролиз с получением полукокса

«Быстрый» пиролиз с получением газа

Кислые стоки

Смола

Сорбент

Кислые стоки

Пиролизный газ

Полукокс

Кислые стоки

Пиролизный газ

Зола

Пиролизный газ

**Продукция:**

Производство электроэнергии

Производство тепла

Товарный сорбент

Активированный уголь

**СВЧ-реактор для пиролиза торфа**  
**на основе промышленного магнетрона**  
**2.45 ГГц / 1 кВт**



«1» - промышленный магнетрон; «2» - система сетевого питания; «3» - система воздушного охлаждения; «4» - согласующие волноводные элементы; «5» - барьерное окно; «6» - волновод связи; «7» - корпус реактора; «8» - система водного охлаждения; «9» - термopара; «10» - манометр; «11» - контейнер для топлива; «12» - выходной газовый клапан с механическим затвором; «13» - теплообменник.



## Достоинства СВЧ-пиролиза перед традиционными системами теплового нагрева:

- **высокая энергоэффективность процесса** за счет высокого КПД передачи энергии в объем реактора и использования относительно дешевых и эффективных (промышленных) СВЧ-источников;
- **высокая тепловая эффективность** нагрева топлива:
  - **объемный характер СВЧ-нагрева** обеспечивает равномерность нагрева топлива в объеме реактора и интенсивный рост температуры;
  - **отсутствие необходимости предварительной сушки топлива** в реакторах СВЧ-пиролиза и **возможность переработки жидких продуктов (отходов)**;
- **увеличение скорости физико-химических реакций** в присутствии СВЧ-излучения;
- **возможность достижения высоких температур** и **глубокая переработка биоматериала**;
- **высокая экологическая чистота** по сравнению с тепловыми пиролизными установками (печами);
  - **упрощение автоматизации производства**;
  - **упрощение технологии удаления продуктов и отходов** переработки за счет уменьшения образования кокса и тяжелых смол на поверхности реактора;
  - **уменьшение аварийной опасности процесса**, т.к. при возможных поломках реактора все химические процессы должны сразу останавливаться.

## Возможности применения продуктов пиролиза торфа

Пять крупнейших стран по площади залежей торфа, млн кв. км (источник– World Energy Resources. World Energy Council, 2016):

- Россия — 1 390 000
- Канада — 1 113 280
- США — 625 001
- Индонезия — 206 950
- Финляндия — 89 000



# Спасибо за внимание!

