

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Барышев М.Г., Джимаков С.С.

ФГБОУ ВПО Кубанский государственный университет,
Южный научный центр РАН, лаборатория «Проблем природных и новых материалов»,
350040, Россия, Краснодар, ул. Ставропольская, 149, *E-mail*: science-pro@kubsu.ru

Введение

Один из важнейших антропогенных факторов – электромагнитное поле техногенных источников. Наиболее остро эта проблема встала в середине 20 века. В настоящее время количество техногенных источников, генерирующих ЭМП и негативно воздействующих на окружающую среду не уменьшается, а только возрастает. Это связано с постоянным развитием радиосвязи, радиолокации, радионавигации, телевидения и других средств коммуникации. Поэтому перед человеческой цивилизацией стоит проблема «электромагнитного загрязнения» окружающей среды. В течение последних 30 лет в результате работ ряда исследователей установлена высокая чувствительность биологических систем к действию на них ЭМП слабой интенсивности – низкочастотного диапазона. Использование ЭМП НЧ для регуляции активности биологических объектов – является перспективным направлением. При рассмотрении вероятных механизмов воздействия ЭМП на биологические системы исходят из того, что одними из наиболее чувствительных к внешним воздействиям процессов являются переходы различных белков, в частности периферических, из связанного на мембранах состояния в водную среду. Подобные однонаправленные процессы происходят на определенных стадиях выхода семян из состояния покоя. Такие переходы белков из-за роста числа степеней свободы для белковых групп в водной среде и соответственно энтропии системы должны быть связаны с малым изменением свободной энергии. Они могут быть вызваны чувствительными к влиянию ЭМП локальными изменениями pH или ионной силы, или концентрации ионов Ca^{2+} , причем данные моделирования показывают, что эффекты ЭМП в области низких частот (от 0,1 до 100 Гц) могут быть существенно усилены за счет нелинейных процессов в примембранном слое.

Одной из возможных причин неадекватного ответа биологических объектов на действие слабого ЭМП низких частот может быть наличие собственных колебаний проводимости в воде, лежащих в этом диапазоне. Большинство биополимеров функционируют в водной среде, взаимодействие составляющих их мономеров определяет пространственную конфигурацию макромолекул. В связи с этим эффекты изменения структуры воды вблизи молекул растворенных веществ существенным образом должны отражаться на конфигурации макромолекул, в процессах активного транспорта крупных молекул через мембрану посредством пермеаз, а также пассивного транспорта ионов через мембрану [1, 2].

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур и улучшение качества продукции, является одной из актуальных проблем сельского хозяйства. В настоящее время перспективными являются исследования воздействия ЭМП НЧ на сельскохозяйственные культуры с целью повышения урожайности и улучшения качества продукции, однако, известно, что магнитобиологические эффекты являются нестабильными. Вероятно, это связано с наличием водородной связи в воде. Известно, что вода даже при комнатной температуре имеет области порядка, по своей физической структуре подобные льду [3]. В жидкой воде происходит постоянное изменение количества молекул, принимающих участие в этих льдоподобных структурах. Эффект воздействия ЭМП на воду (изменение времени спин-решеточной релаксации) зависит от количества и качества подобных структур в воде в момент воздействия [2]. В семенах, в зависимости от времени их хранения происходит изменение водной среды, вязкости, плотности. Именно по этой причине воздействие ЭМП НЧ на всхожесть семян носит резонансный характер. Для определения резонансных частот, приводящих к увеличению всхожести семян, нами была разработана методика, основанная на измерении емкостной составляющей полного сопротивления экстракта из семян от частоты ЭМП НЧ. В

Краснодарском крае одними из наиболее широко выращиваемых культур являются пшеница и подсолнечник. Поэтому нами были проведены исследования воздействия ЭМП НЧ именно на эти культуры.

Материалы и методы

Обработку семян ЭМП НЧ производили с помощью установки, состоящей из генератора колебаний ГЗ 118, частотомера, излучателя, емкости для загрузки исследуемых биосистем, экранирующей камеры.

Для обработки использовали диапазон частот от 12 до 40 Гц, магнитная индукция ЭМП НЧ составляла 400 А/м. Время обработки семян ЭМП НЧ составляло 20 минут. Определение резонансных частот для обработки семян осуществляли по методике измерения емкостной составляющей полного сопротивления экстракционного раствора под воздействием ЭМП НЧ, которая подобно рассмотрена в [4]. Для определения чувствительности семян к параметрам магнитного поля из пробы биологического объекта экстрагировали макромолекулы, отделяли клеточные оболочки и получали водный биологический раствор. Полученный раствор помещали в электроизмерительную ячейку с электродами, покрытыми платиновой чернью и подвергали одновременному воздействию магнитным полем с частотой 3-300 Гц, напряженностью 400 А/м и переменным электрическим полем с частотой 1-30 Гц, напряженностью 0,01-0,07 мВ/м. При этом в течение 120 с измеряли сдвиг фазы между током и напряжением, создаваемым электрическим полем, и производили подсчет количества изменений фазы с уровнем более 10°. По этим данным строили график зависимости емкостной составляющей полного сопротивления экстракта из семян от частоты ЭМП НЧ. По графику выявляли области частот ЭМП с максимальным и минимальным количеством сдвигов фаз, обеспечивающим, изменение количества молекул, принимающих участие в льдоподобных структурах, что вероятно, будет приводить к стимуляции или подавлению активности биологических процессов.

В исследованиях использовали семена подсолнечника сорта Бузулук, семена пшеницы сорта Краснодарская 99. В качестве измеряемых параметров использовали энергию прорастания и всхожесть семян, кроме того, для подсолнечника – измерение длины ростков и гипокотилей. Отбор образцов осуществляли согласно ГОСТ 12036-85 [5], выбирали семена, у которых отсутствовали механические повреждения, а размеры семян лежали в пределах 1,4 - 1,6 см. Отбраковывали семена, обладающие аномальной окраской, покрытые плесенью, с поврежденными семядолями, семена без зародыша, проросшие семена. Семена высаживали в чашки Петри, для проращивания использовали дистиллированную воду удельным сопротивлением 300 кОм/см.

Определение энергии прорастания и всхожести семян подсолнечника и семян пшеницы производили по ГОСТ 12038-84 [6].

Для исследования использовали семена подсолнечника сорта Бузулук, семена пшеницы сорта Краснодарская 99 урожая 2008 года.

Результаты и их обсуждение

Из проведенных ранее исследований по воздействию ЭМП НЧ на биологические объекты было установлено, что для семян пшеницы и подсолнечника существуют как зоны оптимума, так и зоны пессимума по напряженности поля [1]. Исследования проводили в зоне оптимума, напряженность ЭМП НЧ составляла порядка 400 А/м.

На рисунке 1 представлена зависимость емкостной составляющей полного сопротивления экстракта из семян от частоты ЭМП. Как видно из рисунка 1, при предпосевной обработке семян подсолнечника сорта Бузулук в стимулирующем режиме, могут быть использованы частоты 16, 17, 18, 19, 22 и 32 Гц. Обработка семян на этих частотах, вероятно, будет частично приводить к увеличению количества свободной воды и способствовать быстрому выходу их из состояния покоя.

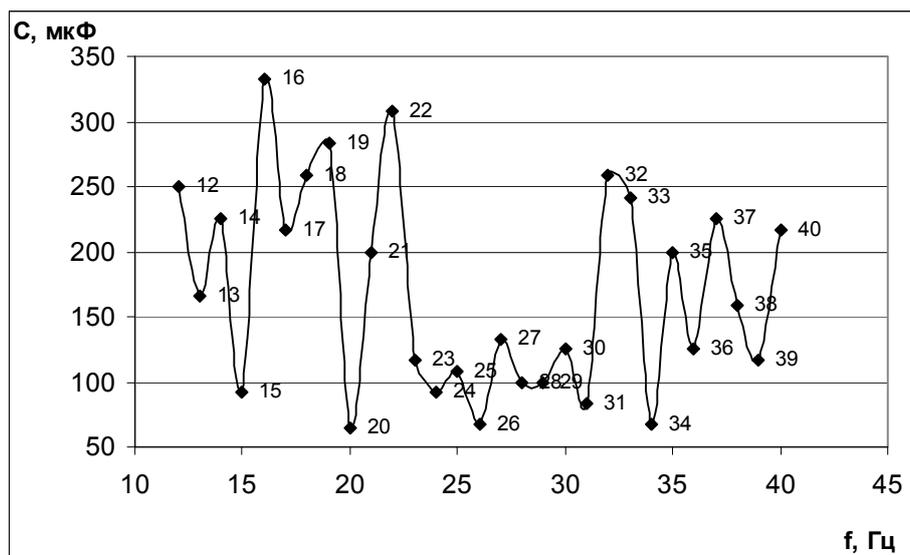


Рисунок 1 – Зависимость емкостной составляющей полного сопротивления экстракта из семян от частоты ЭМП НЧ (для определения стимулирующих частот подсолнечника сорта Бузулук, при $N=400$ А/м).

Анализ результатов исследования энергии прорастания семян подсолнечника сорта Бузулук, обработанных ЭМП НЧ на определенных резонансных частотах показал, что наибольший эффект воздействия на энергию прорастания семян подсолнечника наблюдали при частоте $f=16$ Гц. При этом опытное значение превосходило контроль на 20 %, максимальная ошибка не превышала ± 6 %, (при надежности $P=0,95$). Наряду с исследованием энергии прорастания нами оценивали всхожесть семян (рис. 2).

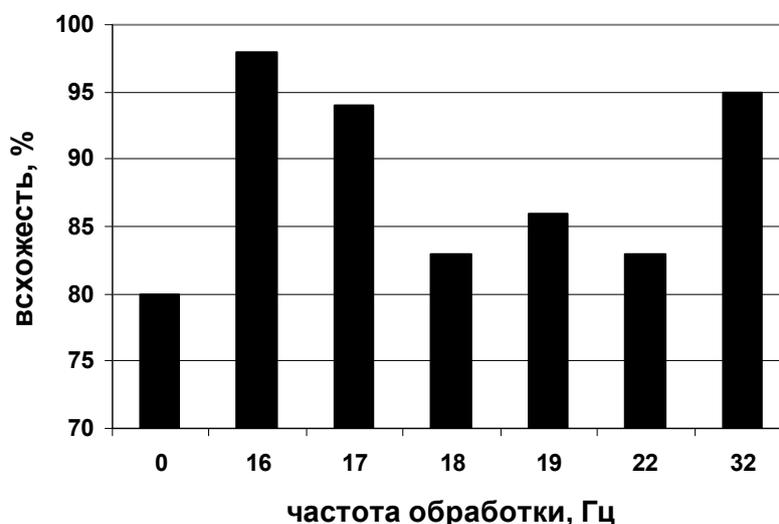


Рисунок 2 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта Бузулук от частоты ЭМП НЧ ($t=20$ минут, $N=400$ А/м)

Как видно из данных, представленных на рис. 2, максимальную всхожесть семян подсолнечника наблюдали при обработке их ЭМП той же частоты, что и при определении максимума энергии прорастания, то есть с частотой 16 Гц. При воздействии ЭМП с этой частотой всхожесть опытных образцов превысила контроль на 18 %. Таким образом, экспериментально определено, что наиболее подходящим режимом воздействия ЭМП НЧ на семена подсолнечника сорта Бузулук является $f = 16$ Гц, при напряженности магнитного поля $N=400$ А/м, и времени воздействия $t = 20$ минут. При данных условиях наблюдается максимальная по сравнению с контролем всхожесть и энергия прорастания семян, а также отсутствие на семенах плесневой микрофлоры.

Однако как показали результаты лабораторных опытов – при исследовании влияния эффективности воздействия ЭМП КНЧ на начальные стадии прорастания семян не всегда достаточно измерение таких параметров, как энергия прорастания и всхожесть семян. Достаточно часто при обработке семян ЭМП КНЧ наблюдаются одинаковые значения данных параметров при обработке семян разными частотами, тогда как длина ростков и корешков (гипокотилей) семян значительно варьируют в зависимости от частоты ЭМП, при которой происходит обработка. Поэтому нами были проведены измерения длины ростков и корешков семян и статистическая обработка полученных данных при помощи оценки разности выборочных средних по t-критерию для надежности 95%.

Таблица 1

Отличие средней длины ростков и корешков проросших семян подсолнечника сорта Бузулук от контроля на стадии всхожести и значение t-параметра

Частота обработки ЭМП, Гц	16		17		18		19		22		32		Теоретическое значение t-критерия, для 0,95
	Рост.	Кор.											
Процент от контроля	21	32	15	28	14	30	18	29	10	32	19	25	
Значение t-критерия	2,58	4,98	1,82	4,06	1,63	4,36	1,69	4,17	1,2	5,23	2,04	3,64	1,98

Как видно из таблицы, обработка семян подсолнечника с частотой 16 Гц ЭМП приводит к наибольшему достоверному изменению длины ростков и корешков, т.е. 16 Гц – является оптимальной частотой, для стимуляции семян подсолнечника сорта Бузулук. При обработке семян с частотой 22 Гц отличие длины корней от контроля так же составило 32 %, однако отличие средней длины ростков от контроля составило всего 10 % и значение всхожести семян при обработке ЭМП КНЧ с данной частотой составило всего 83 %, тогда как при обработке частотой 16 Гц значение всхожести составило 98%.

Результаты определения резонансных частот для обработки семян пшеницы сорта Краснодарская 99 при помощи методики измерения емкостной составляющей полного сопротивления экстракционного раствора под воздействием ЭМП НЧ, представлены на рисунке 3.

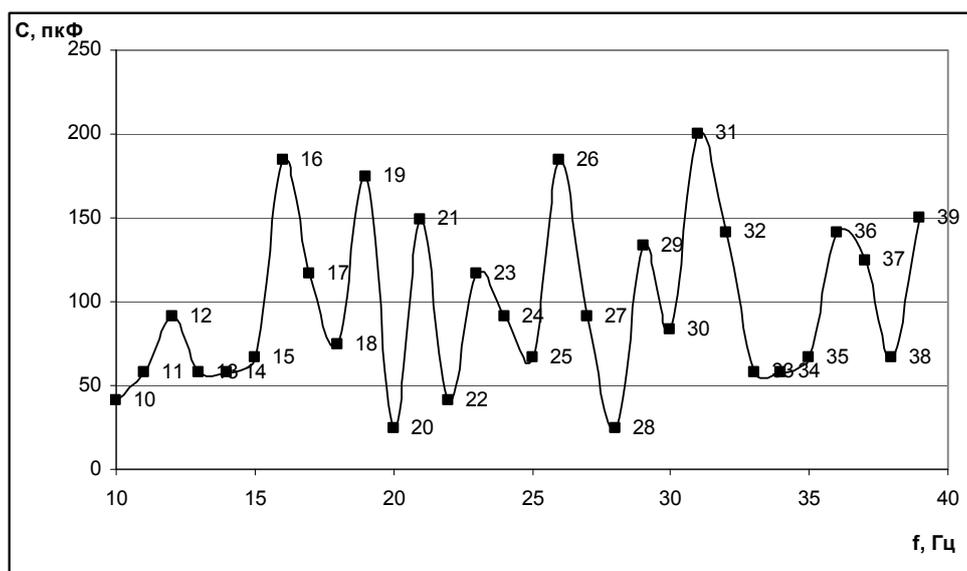


Рисунок 3 - Определение резонансных частот для обработки ЭМП НЧ пшеницы сорта Краснодарская 99 при N=400 А/м

Как видно из рисунка 3, для предпосевной обработке семян пшеницы сорта Краснодарская 99 в стимулирующем режиме, могут быть использованы частоты 16, 19, 26 и 31 Гц. Наибольший эффект зависимости энергии прорастания семян пшеницы от частоты электромагнитного поля наблюдается на частоте $f = 31$ Гц, при этом опытное значение превосходило контроль на 15 %, максимальная ошибка не превышала ± 6 % (при надежности $P=0,95$). Максимальная всхожесть семян наблюдается при воздействии ЭМП с частотой, характерной для максимума энергии прорастания (31 Гц). При воздействии ЭМП с этой частотой всхожесть опытных образцов превысила контроль также на 19 %. Таким образом, экспериментально установлено, что наиболее подходящим режимом воздействия ЭМП КНЧ на семена пшеницы сорта Краснодарская 99 является $f=31$ Гц, при напряженности магнитного поля $H=400$ А/м, время воздействия составляет $t=20$ минут. При данных параметрах обработки наблюдается максимальная по сравнению с контролем всхожесть и энергия прорастания семян и отсутствие грибной микрофлоры.

В настоящее время имеется огромное количество различных радиопередающих устройств, которые излучают в пространство электромагнитные волны, промодулированные различными способами. Технически наиболее просто передавать информацию можно с помощью амплитудно-модулированных электромагнитных волн, поэтому ранее для передачи информации использовали в основном амплитудно-модулированные (АМ) сигналы.

Как правило, сейчас используют более сложные виды модуляции: частотная (ЧМ), фазовая (ФМ), импульсно-кодовая и др., так как они являются более помехозащищенными. Но амплитудно-модулированные сигналы широко используются для передачи информации в устройствах сигнализации, управления движения манипуляторов, радиовещательных диапазонах ДВ, СВ, КВ, любительском диапазоне радиосвязи и т.д.. Поэтому, доля амплитудно-модулированных сигналов в общем уровне электромагнитного загрязнения остается очень высокой и преобладающий вплоть до частот излучения несущего сигнала в 100 МГц. Как правило, при использовании более высоких частот в качестве несущих применяют более сложные виды модуляции и доля этих сигналов в общем электромагнитном фоне с каждым годом возрастает.

Ранее, в работах [9, 10], было исследовано действие амплитудно-модулированного ЭМП на биологические системы, поэтому, нами были проведены исследования влияния ЧМ и ФМ ЭМП на семена сельскохозяйственных культур, которые позволили выявить определенные закономерности.

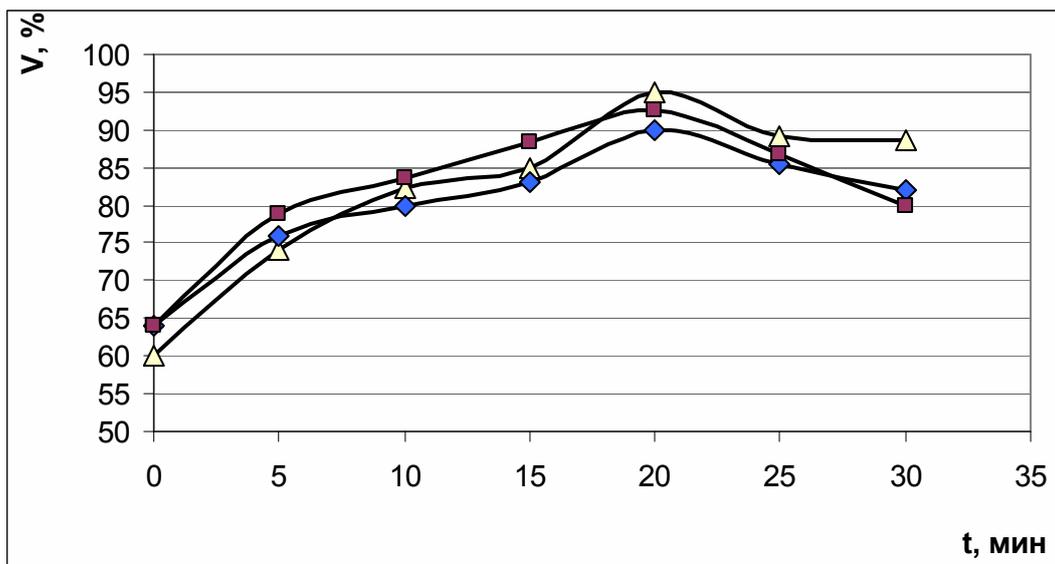
Основное внимание было уделено действию ЧМ ЭМП на биологические системы. Для исследования влияния ЧМ ЭМП использовались семена подсолнечника сорта «Лакомка» и семена сои сорта «Вилана-Элита». Выбор несущей частоты был ограничен от 1 до 10 кГц, так как эти результаты можно сопоставить с проведенными ранее в работах [9, 10].

На рисунке 4. представлены результаты исследования всхожести семян подсолнечника от времени обработки ЧМ ЭМП с несущей частотой 1 кГц, 5 кГц, 10 кГц и модулирующей частотой 22 Гц, напряженность магнитного поля имела величину $H=100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

Из вида зависимости следует, что наибольший эффект достигается при обработке ЧМ ЭМП в течение 20 минут и приводит к увеличению всхожести при использовании несущей частоты $f=1$ кГц на 26 % относительно контроля, $f=5$ кГц на 28 % и $f=10$ кГц на 35 %. При времени воздействия меньше 7 минут, всхожесть уменьшается. Это связано с реакцией биологической системы на физический фактор.

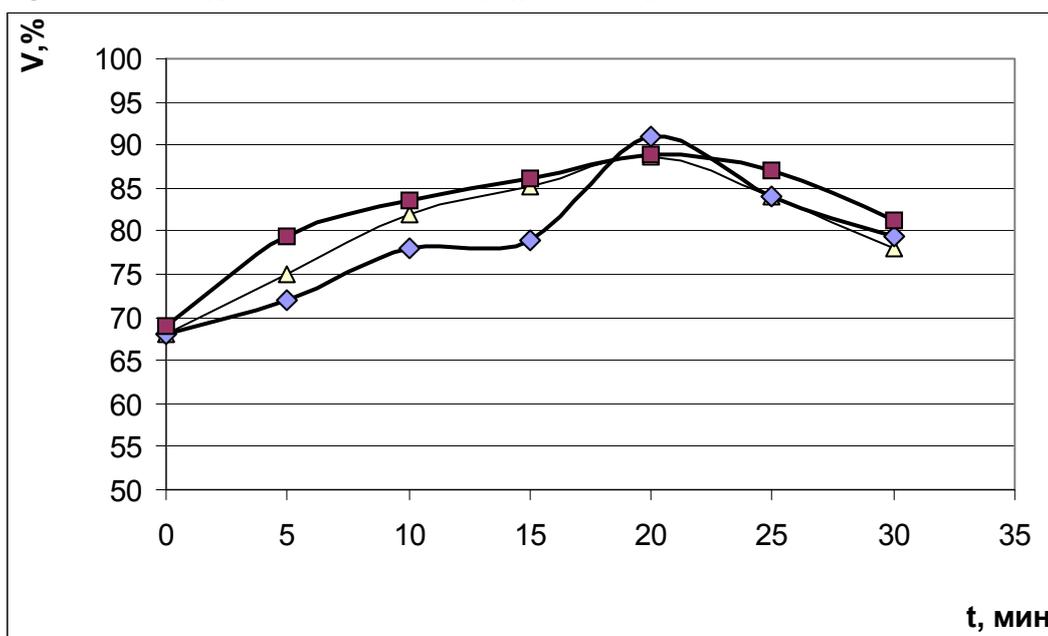
Для семян сои зависимость всхожести от времени воздействия ЧМ ЭМП с несущей частотой 1 кГц, 5 кГц, 10 кГц и модулирующей частотой 15 Гц представлены на рисунке 5, при этом напряженность магнитного поля составляла $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

Данная зависимость показывает, что максимальная всхожесть семян сои наблюдалась при воздействии ЧМ ЭМП в течении 20 минут. Увеличение всхожести опытных образцов по сравнению с контрольными составляло 23% 20% и 20% для частоты несущей $f=1$ кГц, 5 кГц и 10 кГц соответственно.



- ◆ - несущая частота $f=1$ кГц;
- - несущая частота $f=5$ кГц;
- ▲ - несущая частота $f=10$ кГц

Рисунок 4 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» от времени воздействия ЧМ ЭМП, $f_m = 22$ Гц, $H = 100$ А/м, $\Delta f = 200$ Гц



- ◆ - несущая частота $f=1$ кГц;
- - несущая частота $f=5$ кГц;
- ▲ - несущая частота $f=10$ кГц

Рисунок 5 – Зависимость всхожести семян сои сорта «Вилана-Элита» от времени воздействия ЧМ ЭМП, $f_m = 15$ Гц, $H = 100$ А/м, $\Delta f = 200$ Гц

Спектр ЧМ колебания при индексе частотной модуляции $M_{чм} > 1$ является гораздо более широким, чем АМ колебания. Фактически, он представляет собой относительно несущей частоты сплошной симметричный спектр колебаний с убывающей амплитудой в сторону уменьшения частоты и ее увеличения. Данное свойство ЧМ спектра, при использовании фильтра, позволяет получать спектры близкие к спектрам генерируемым различным электротехническим оборудованием и приборами, что может позволить использовать это свойство для моделирования реакции биосистемы на тот или иной источник загрязнения электромагнитного фона.

В этой связи, нами были проведены исследования ЧМ колебаний на всхожесть семян подсолнечника сорта «Лакомка». Воздействие производилось ЧМ ЭМП с $f_n = 300$ Гц, напряженностью порядка $H=100$ А/м, в течение 20 минут, при этом, предварительно исследовался спектр колебаний с помощью персонального компьютера и программы анализатора спектра. Используемые в процессе исследований спектры представлены на рисунках 6-8.

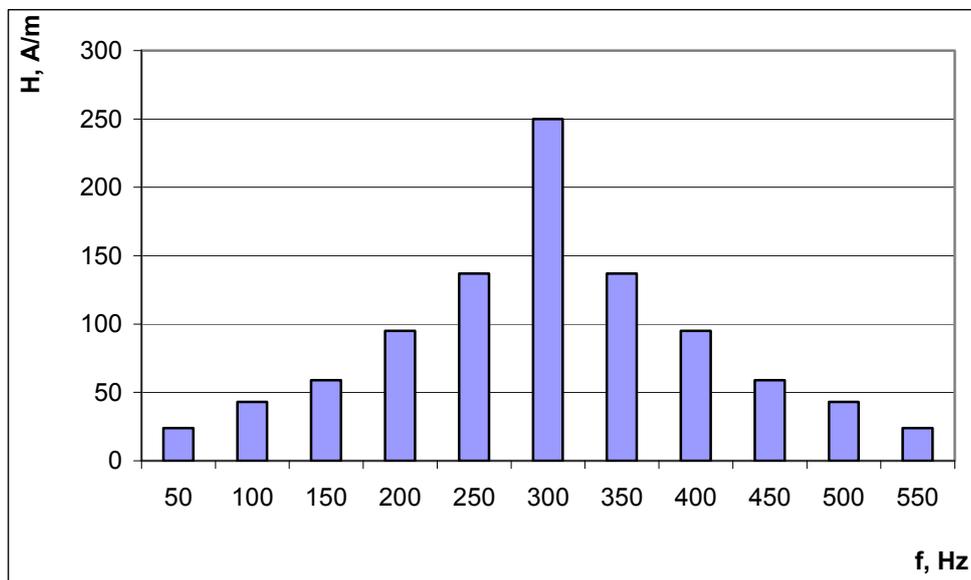


Рисунок 6 – Спектр частотно-модулированного сигнала относительно частоты несущей $f_n = 300$ Гц.

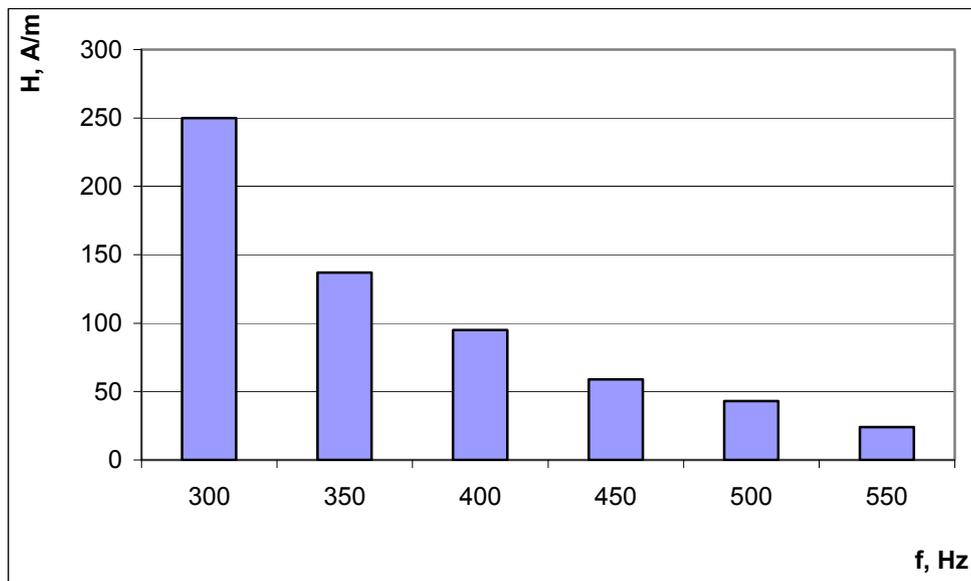


Рисунок 7 – Частотно-модулированные колебания, прошедшие через фильтр, обрезающий полосу частот от 300 до 600 Гц.

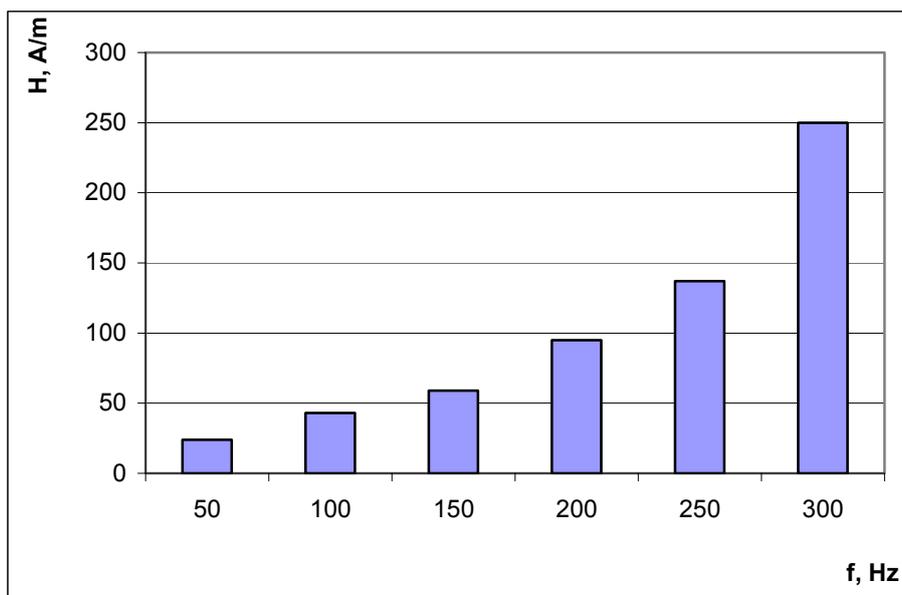


Рисунок 8 – Частотно-модулированные колебания, прошедшие через фильтр, обрезающий полосу частот от 0 до 300Гц

Заметим, что спектр на рисунке 7 представляет собой правую часть спектра, изображенного на рисунке 6 относительно частоты несущей $f_n = 300$ Гц. Спектр на рисунке 8 является обратным к представленному на рисунке 7 и амплитуда его составляющих возрастает от 0 Гц до 300 Гц. По форме спектр представленный на рисунке 7 напоминает спектр излучения электродвигателя, который будет рассматриваться далее.

Результаты всхожести семян и их энергии прорастания от частоты модуляции f_m ЧМ ЭМП представлен на рисунках 9-10, из которых следует, что зависимости изменения исследуемых параметров от модулирующей частоты ЧМ ЭМП аналогична изменению этих параметров от частоты немодулированного ЭМП. Увеличение индекса частотной модуляции приводило к уменьшению всхожести, начиная с $M_{ЧМ} = 6$. Это связано с тем, что в этом случае ширина спектра возрастает, при одновременном убывании амплитуды составляющих.

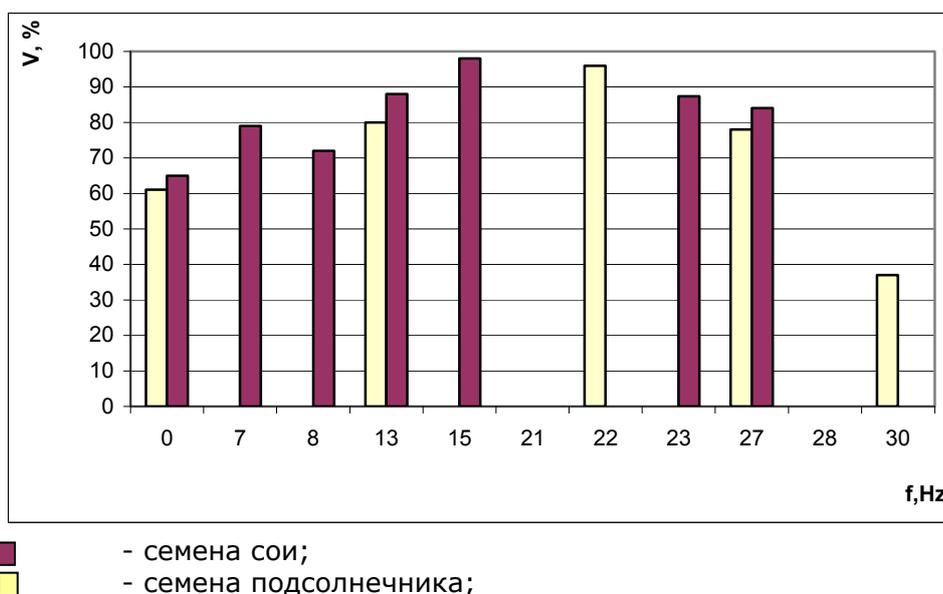


Рисунок 9 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Вилана-Элита» от частоты модуляции f_m . Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц, время воздействия $t=20$ мин.

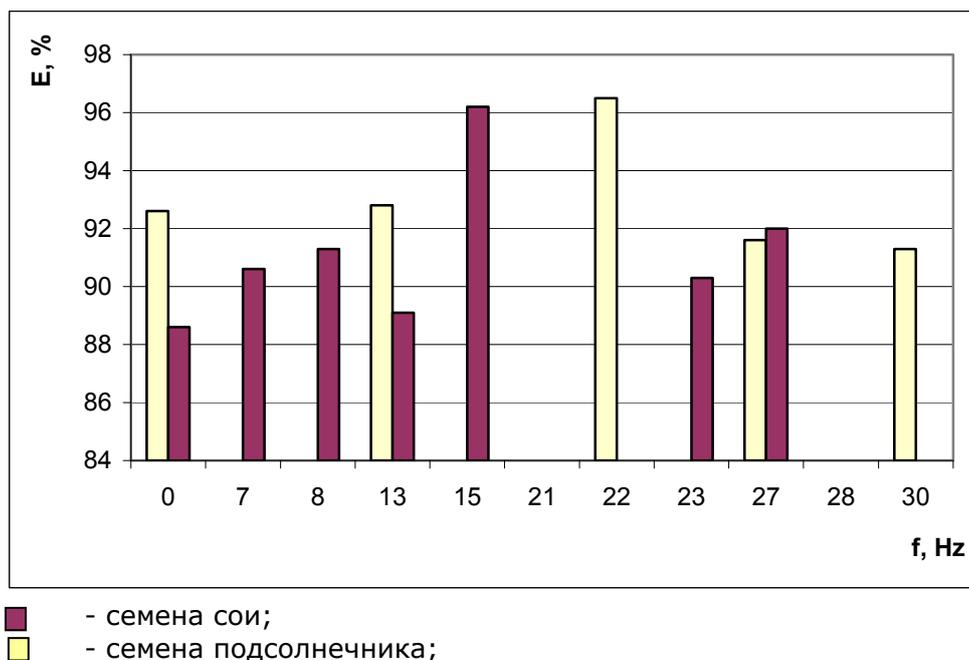


Рисунок 11 – Зависимость энергии прорастания семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Вилана-Элита» от частоты модуляции f_m . Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100A/m$, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц, время воздействия $t = 20$ мин

Результаты исследования всхожести семян при действии на них ЧМ ЭМП со спектральными характеристиками соответствующим рис.7 представлены на рис. 12.

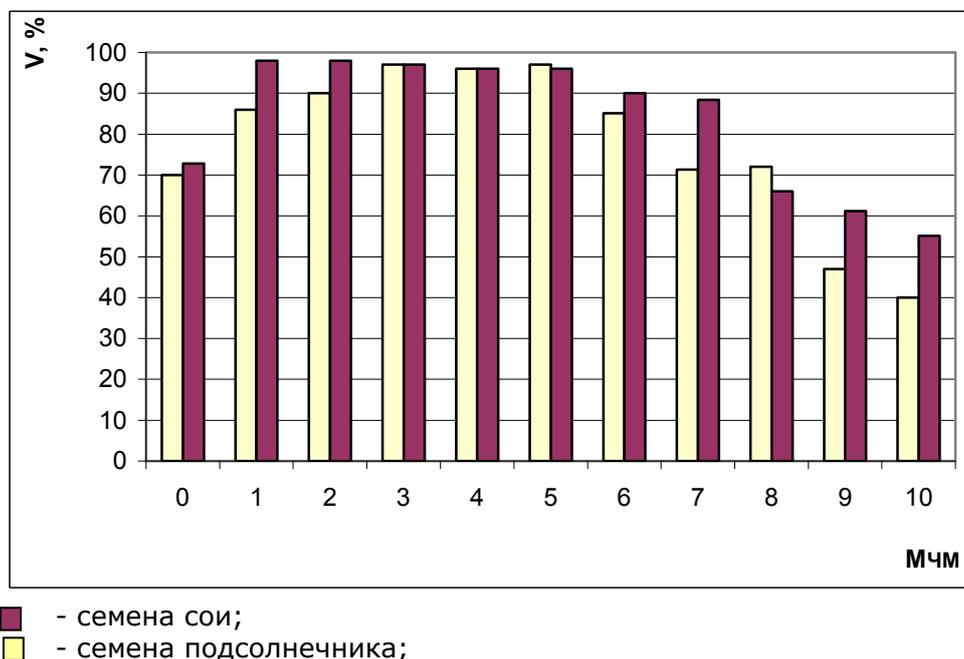
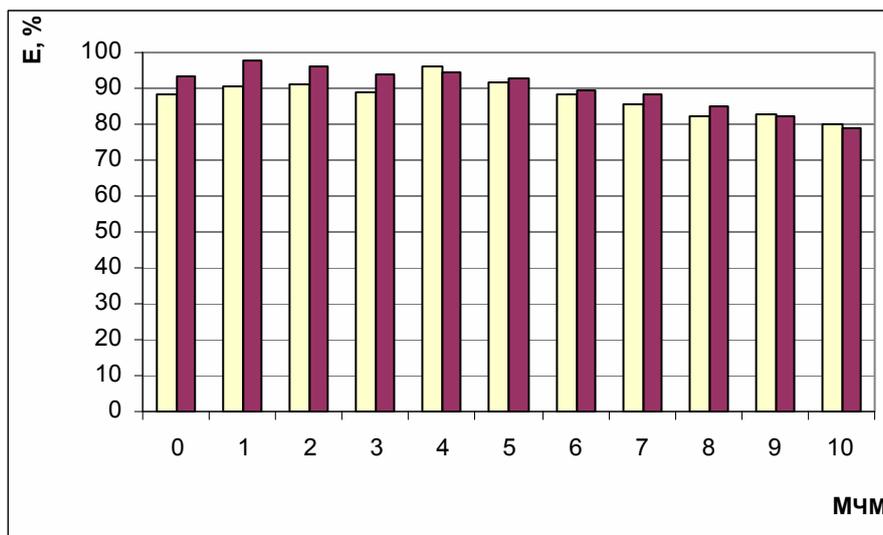


Рисунок 12 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Вилана-Элита» от индекса частотной модуляции $M_{чм}$. Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100A/m$, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц, время воздействия $t = 20$ мин

Из них следует, что всхожесть опытных семян так же является высокой по сравнению с контролем. Увеличение индекса частотной модуляции приводит к аналогичному, что и в предыдущем случае результату, а именно – уменьшению всхожести семян, начиная с индекса $M_{чм} = 6$ и при значении $M_{чм} = 9$ всхожесть становится меньше контроля.

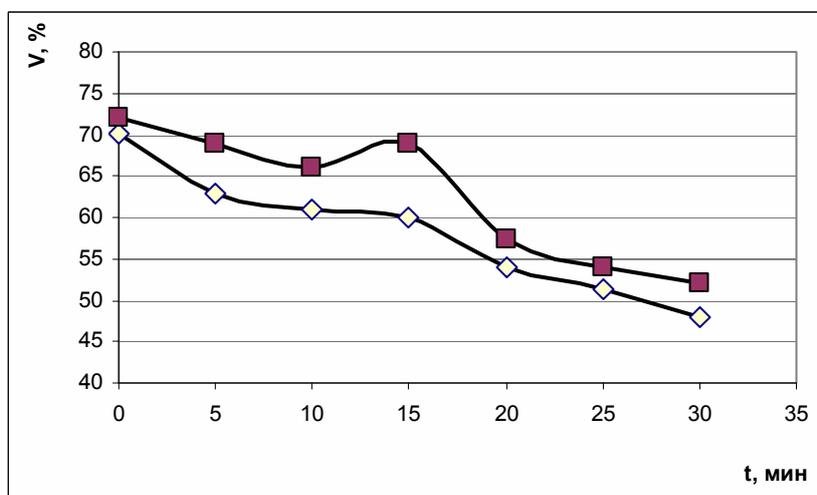


- - семена сои;
- - семена подсолнечника;

Рисунок 13 – Зависимость энергии прорастания семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Вилана-Элита» от индекса частотной модуляции $M_{\text{ЧМ}}$. Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц, время воздействия $t = 20$ мин.

Результат изменения всхожести при действии на семена ЧМ ЭМП со спектральной характеристикой, представленной на рис. 8, изображены на рис. 13. Отличие в данном случае от предыдущих результатов состоит в том, что увеличение индекса частотной модуляции не приводит к изменению результатов, так как изначально спектр ограничен в узком полосе 0 – 300 Гц и увеличение индекса частотной модуляции не может повлиять на расширение его полосы, так как она ограничена с помощью фильтра. Приведенные результаты показывают, что можно добиться одинакового увеличения всхожести при действии на семена ЧМ ЭМП с симметричным спектром и при воздействии одной боковой полосы.

Все выше перечисленные зависимости были получены, когда частотную модуляцию несущего колебания осуществляли с помощью модулирующей частоты, соответствующей увеличению всхожести и энергии прорастания. На следующем этапе, используя ранее полученные результаты, был промодулирован сигнал с частотой модуляции, соответствующей уменьшению всхожести и энергии прорастания, для семян подсолнечника сорта «Лакомка» $f_m = 30$ Гц, а для семян сои сорта «Вилана-Элита» $f_m = 8$ Гц. При этом использовалась одна полоса спектра, соответствующего изображенному на рисунке 7.



- - семена сои, частота модуляции $f_m = 8$ Гц;
- - семена подсолнечника, частота модуляции $f_m = 30$ Гц;

Рисунок 14 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Виллана-Элита» от времени при воздействии ЧМ ЭМП с модулирующей частотой, соответствующей уменьшению всхожести. Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц

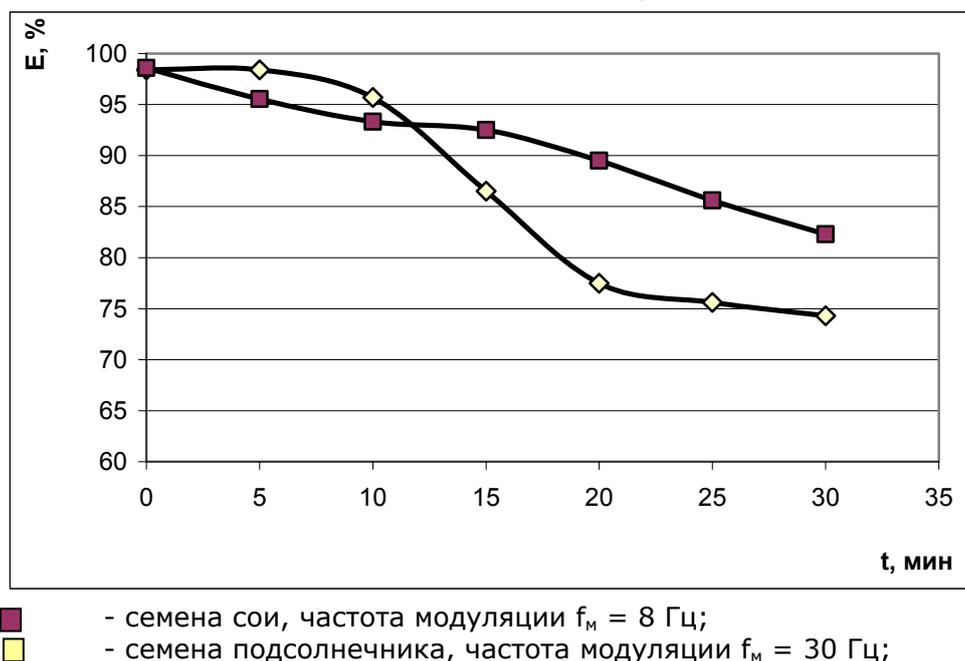


Рисунок 15 – Зависимость энергии прорастания семян подсолнечника сорта «Лакомка» и семян сои сорта «Вилана-Элита» от времени при воздействии ЧМ ЭМП с модулирующей частотой, соответствующей уменьшению всхожести. Частота несущей $f_n = 300$ Гц, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

Из результатов данных исследований следует, что в опытных образцах всхожесть меньше контроля на 15-22% для семян подсолнечника и на 11-20% для семян сои. То есть, наблюдается аналогичная закономерность, которая была выявлена для амплитудной модуляции в работах [10, 11]. Биологический эффект в определенных окнах изменения частоты несущей и напряженности поля определяется, прежде всего, модулирующей частотой.

С практической точки зрения для оценки экологических последствий действия того или иного источника ЭМП необходимо выяснить возможность быстрого и малозатратного способа оценить последствия действия ЭМП, спектр которого содержит некоторое количество составляющих, позитивно и негативно воздействующих на биосистему.

Очевидно, что наиболее простой случай, когда несущее колебание промодулировано двумя частотами, одна из которых приводит к увеличению всхожести и благоприятно влияющая на биосистему, а другая негативно воздействует на нее и уменьшает всхожесть. В этом случае несущая частота составляла $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{m1} = 22$ Гц (положительное влияние), $f_{m2} = 30$ Гц (негативное влияние) для семян подсолнечника и $f_{m1} = 8$ Гц (негативное влияние), $f_{m2} = 15$ Гц (положительное влияние) для семян сои. Нами было проверено несколько вариантов воздействия, когда амплитуда f_{m1} была относительно f_{m2} :

- а.** больше в 10 раз;
- б.** больше в 5 раз;
- в.** больше в 3 раза;
- г.** больше в 2 раза;
- д.** равны;
- е.** меньше в 2 раза;
- ж.** меньше в 3 раза;
- з.** меньше в 5 раз;
- и.** меньше в 10 раз.

Результаты исследования всхожести семян представлены на диаграмме, изображенной на рис.16-17.

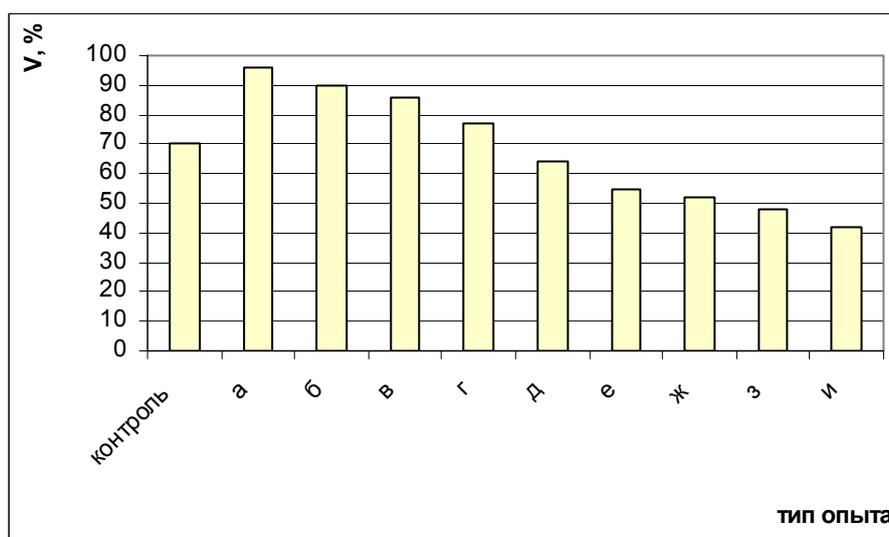


Рисунок 16 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано двумя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{m1} = 22$ Гц (положительное влияние), $f_{m2} = 30$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

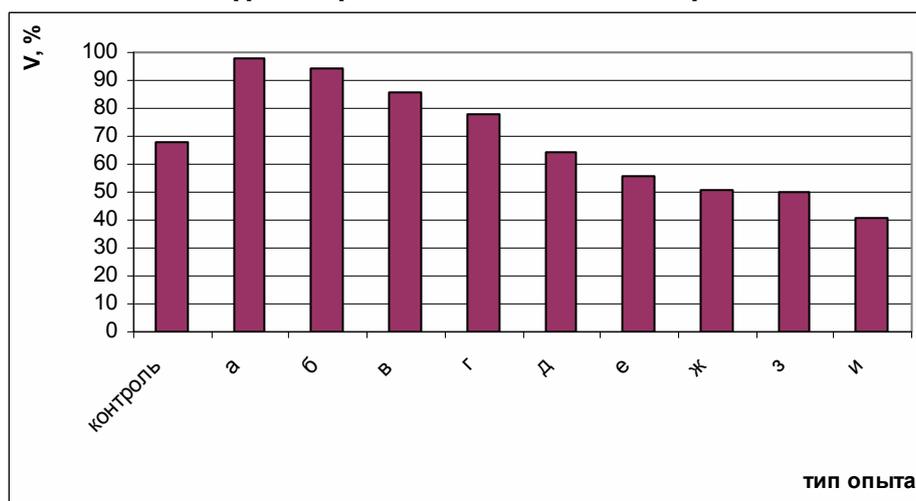


Рисунок 17 – Зависимость всхожести семян сои сорта «Виллана-Элита» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано двумя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{m1} = 15$ Гц (положительное влияние), $f_{m2} = 8$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

Таким образом, всхожесть зависит от соотношения амплитуд частот модулированных сигналов. Более подробно причины, приводящие к данным результатам будут рассмотрены далее, когда будет получен ответ на вопрос, как можно выделить из спектра ЧМ колебания информационной составляющей.

На рис. 18-19 приведены результаты исследования всхожести при действии на семена ЧМ ЭМП одновременно промодулированным тремя колебаниями, из которых два влияли положительно на рост семян, а одно – отрицательно, а также, когда два колебания были отрицательными и одно – положительно, которые представлены на рис.20-21. Соотношения амплитуд распределялись следующим образом, причем амплитуда f_{m1} и f_{m2} была относительно f_{m3} :

- а.** больше в 10 раз;

- б. больше в 5 раз;
- в. больше в 3 раза;
- г. больше в 2 раза;
- д. равны;
- е. меньше в 2 раза;
- ж. меньше в 3 раза;
- з. меньше в 5 раз;
- и. меньше в 10 раз.

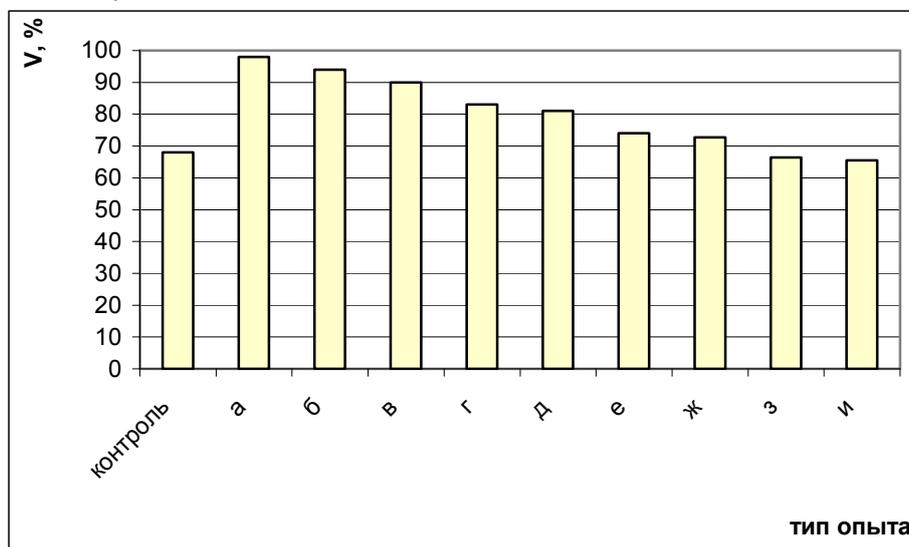


Рисунок 18 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано тремя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{м1} = 22$ Гц, $f_{м2} = 13$ Гц, (положительное влияние), $f_{м3} = 30$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

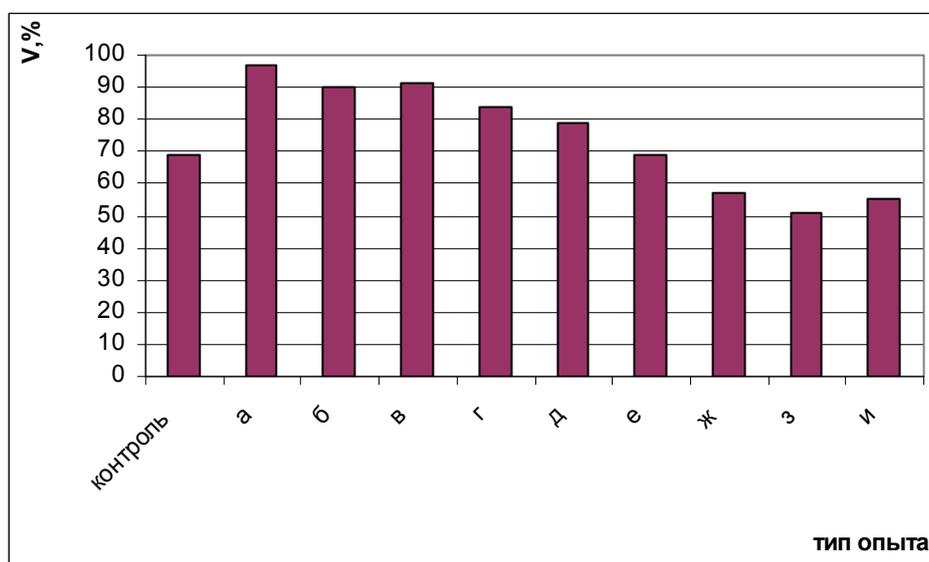


Рисунок 19 – Зависимость всхожести семян сои сорта «Виллана-Элита» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано тремя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{м1} = 15$ Гц, $f_{м1} = 27$ Гц, (положительное влияние), $f_{м2} = 8$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц.

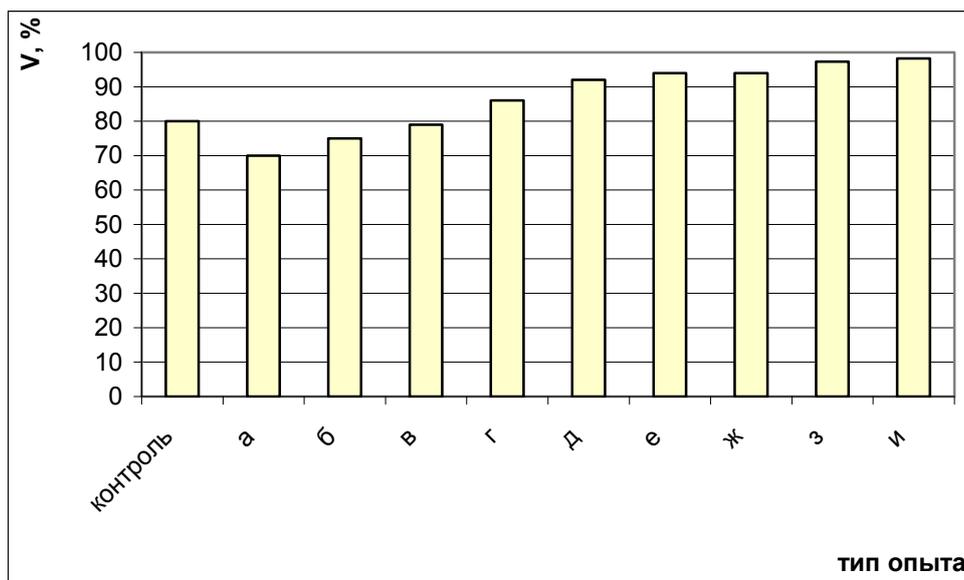


Рисунок 20 – Зависимость всхожести семян подсолнечника сорта «Лакомка» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано тремя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{м1} = 22$ Гц, (положительное влияние), $f_{м1} = 17$ Гц, $f_{м2} = 30$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц

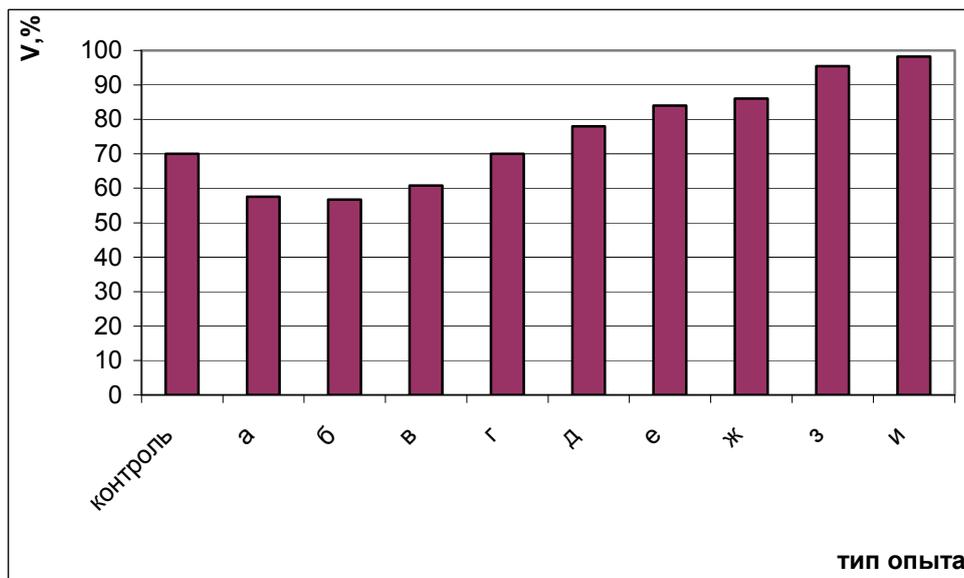


Рисунок 21 – Зависимость всхожести семян сои сорта «Виллана-Элита» от воздействия ЧМ ЭМП когда несущее колебание промодулировано тремя частотами в разном пропорциональном соотношении амплитуд. $f_n = 300$ Гц, модулирующие частоты $f_{м1} = 15$ Гц, (положительное влияние), $f_{м2} = 7$ Гц, $f_{м3} = 8$ Гц (негативное влияние), $t=20$ мин, напряженность магнитного поля $H = 100$ А/м, девиация частоты $\Delta f = 200$ Гц

Заключение

В результате проведенных исследований видна связь изменения частот ЭМП (резонансных частот), найденных с помощью исследования емкостной составляющей полного сопротивления экстракта из семян от частоты ЭМП НЧ с энергией прорастания и всхожестью семян. Изменение всхожести семян пшеницы и подсолнечника под действием ЭМП можно объяснить тем, что в семенах изменяется количество свободной и связанной воды, что вызывает изменения осмотического давления внутри клеток. В случае стимулирующего воздействия (приводящего к увеличению всхожести), осмотическое

давление внутри клеток возрастает, что приводит к увеличению степени растяжения мембран и уменьшению связи периферических белков с мембраной. Происходит высвобождение большего количества белков, т.е. ускоряется процесс перехода белков из связанного состояния в растворенное, и запуска с их помощью дальнейших процессов, необходимых для прорастания семян. В случае же воздействия ЭМП, приводящего к уменьшению всхожести семян, происходит обратный процесс [7, 8]. Плотность и вязкость воды увеличивается, осмотическое давление – уменьшается. В результате этого, вероятность высвобождения периферических белков, связанных с мембраной, уменьшается.

Показано, что при воздействии на семена ЧМ ЭМП в спектре которого преобладают негативные составляющие, воздействующие на семена, всхожесть семян уменьшается. В случае преобладания в спектре колебаний, которые оказывают на систему положительное воздействие, наблюдается увеличение всхожести семян. Таким образом, оценивая спектральную плотность отдельных составляющих спектра можно заранее качественно спрогнозировать результат воздействия на биологическую систему.

Естественно, что результат воздействия ЧМ ЭМП можно прогнозировать при помощи информации о том, как влияют отдельные модулирующие частоты на биосистему.

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП проект № 1.1.10.

RESEARCH OF INFLUENCE OF THE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON BIOLOGICAL OBJECTS

M.G. Barishev, S.S. Dzhimak

Kuban state university, South Scientific Centre of Russian Academy of Sciences E-mail: science-pro@kubsu.ru

Литература

1. Барышев М.Г., Касьянов Г.И., Джимак С.С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы // Известия вузов Пищевая технология. 2007. №3. С.44-48.
2. Барышев М.Г., Васильев Н.С., Джимак С.С. О корреляции между временем спин-спиновой релаксации магнитообработанной воды и выживаемостью микроорганизмов// Экологический Вестник ЧЭС. Вып. 1. 2010. С. 26-31.
3. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 182 с.
4. Барышев М.Г., Евдокимова О.В., Ломакина Л.В., Джимак С.С. Установка для регулирования активности биологических объектов / Патент РФ № 67381 А 01С 1/00 с приоритетом от 06.06.07. Оpubл. 27.10.07. Бюл. №30. Зарегистр. 27.10.07.
5. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Методы отбора проб.
6. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения всхожести.
7. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2004. 212 с.
8. Аксенов С.И., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н. О механизмах стимуляции и торможения при прорастании семян пшеницы в электромагнитном поле сверхнизкой частоты. // Биофизика. Т. 52. Вып. 2. 2007. С. 332-338.
9. Барышев М.Г. Влияние электромагнитного поля на биологические системы растительного происхождения. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т., 2002.
10. Щелкунова С.А., Денчев Д.Д., Баденко Л.А., Семенов Р.И. Влияние магнитных полей на кишечную палочку *Escherichia coli* K-12. // Биофизика. 1970. Т. 15. Вып. 4. С. 665-669.
11. Фесенко Е.Е., Попов В.И., Новиков В.В., Хуцян С.С. структурообразование в воде при действии слабых магнитных полей и ксенона. Электронно-микроскопический анализ. // Биофизика. 2002. Т.47. Вып. 3. С.389-394.