

ОСОБЕННОСТИ ПРЯМОГО И ОПОСРЕДОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА СЕМЕНА РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМЫ

О. И. Коваленко, Ф. В. Кивва, *С. В. Калиниченко, А. Л. Коворотный

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: kivva@ire.kharkov.ua

**ИМИ им. И. И. Мечникова АМН Украины,*

14, ул. Пушкинская, Харьков, 61057, Украина

В течение 2003-2005 гг. проведены систематические исследования влияния электромагнитного поля малой интенсивности на биологические объекты разных классов (семена растений и микроорганизмы) при непосредственном их облучении, а также опосредованно путём взаимодействия биологических объектов с предварительно облучённой водой и водосодержащими растворами.

Облучение проводилось в дискретных полосах крайневисокочастотного диапазона (КВЧ), широкополосным шумовым сигналом, перекрывающим сверхвысокочастотный (СВЧ) и КВЧ диапазоны ($f=25,86 - 37,50$ ГГц), а также фрактальным шумовым излучением в широкой полосе частот от высоких (ВЧ) до СВЧ.

Показана возможность электромагнитной модификации функциональных показателей путём непосредственного и опосредованного облучения биологических объектов, выявлены общие закономерности и различия эффективности воздействия. Показана зависимость биологического отклика от частоты, ширины спектра, вида модуляции сигнала, а также от общей энергетической нагрузки. Особого внимания заслуживают эффекты при опосредованном воздействии электромагнитных полей на биологические объекты. Ил. 5. Табл. 3. Библиогр.: назв. 15.

Ключевые слова: электромагнитное поле, биообъект, семена растений, микроорганизмы, непосредственное и опосредованное воздействия, вода и водосодержащие растворы.

Влияние внешних электромагнитных полей на биологические объекты привлекает внимание учёных и специалистов, работающих в областях биологии, медицины, сельского хозяйства, экологии и др. Особый интерес представляет воздействие низкоинтенсивного излучения КВЧ диапазона и шумового излучения, которые могут быть связаны с резонансами биомолекул и их отдельных составляющих [1-5]. Несмотря на большое количество публикаций, касающихся этой проблематики, в настоящее время не существует исчерпывающих объяснений механизмов взаимодействия электромагнитных полей с биообъектами.

Согласно существующим гипотезам [6,7] одной из мишеней, на которую воздействует электромагнитное поле, является вода. Экспериментальные факты свидетельствуют об изменении свойств воды под действием электромагнитных полей низкой интенсивности, которое проявляется как непосредственно в изменении структуры воды, так и косвенно путем оценки влияния облученной воды на биологические объекты [5].

Вода играет важную роль в биологических системах. На молекулярном уровне все компоненты клеток и межклеточного пространства находятся в водной среде. Вода количественно доминирует в биосфере [8]. Она отвечает за элементарные биохимические процессы в биологических объектах: транспорт, комплексообразование, химические и физические факторы с участием макромолекул. Помимо биологических жидкостей большое количество воды удерживается в

клетках на поверхности и между ними. Значительную долю составляет фракция иммобилизованных молекул воды с заторможенными степенями свободы. Для биологических структур вода выполняет формообразующую функцию, пространственная структура макромолекул определяется характером взаимодействия их отдельных мономерных отрезков с водой (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, мембраны) [9].

Необычные свойства воды объясняются её строением, а именно, наличием водородной связи, важной особенностью которой является высокая подвижность центрального протона, расположенного между двумя атомами кислорода. Он легко может смещаться в направлении H -связей под действием внешних сил. Согласно современным представлениям, вода - единая бесконечная структура, которая содержит отдельные микрокластеры, стабилизированные за счет транспорта протонов. Локальные свойства таких кластеров отличаются от глобальных свойств окружающей сетки H -связей. Помимо нейтральных кластеров существуют и заряженные молекулы - клатраты [5,10]. Поскольку энергия связи атомов в кластерных ионах относительно невелика, то при воздействии миллиметрового излучения поглощение кванта энергии заметно интенсифицирует процессы кластерных ионов. В результате происходит разрушение кластерных образований молекул воды, которые вновь восстанавливаются, но уже в измененном виде, что и приводит к реорганизации электронной структуры молекулы H_2O .

Существуют предположения об изменениях электромагнитной структуры в самой молекуле воды в результате воздействия низкоинтенсивного излучения миллиметрового диапазона, которые к тому же сохраняются длительное время [5].

В настоящее время влияние миллиметрового излучения на воду и водосодержащие среды связывают с возбуждением в них резонансного состояния. Под резонансной прозрачностью сред понимается эффект пропускания миллиметрового излучения в узких интервалах частот при резонансном взаимодействии волн с собственными колебаниями связанных осцилляторов среды. Этот эффект - результат возбуждения в среде термодинамического фазового состояния синхронизации колебаний молекулярных осцилляторов. Принципиально важно, что резонансное состояние и соответственно резонансная прозрачность являются пороговым эффектом малого уровня мощности, выше которой эффект пропадает. Например, данный порог составляет величину менее 1 мкВт/см^2 . В этом состоит отличие резонансной прозрачности от окон прозрачности сред, когда поглощение электромагнитных волн значительно снижается в широких интервалах частот и не зависит от подающей мощности в границах линейного режима [3].

Некоторые аномальные линии поглощения воды и водяного пара в миллиметровом диапазоне объясняются наличием кластеров (т. е. линий, не принадлежащих вращательному спектру самой молекулы воды). Поскольку собственные частоты 57-го и 60-го молекулярных кластеров находятся в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, это позволяет предположить резонансный характер воздействия излучения этого диапазона на указанные кластеры.

Экспериментально установлено, что резонансно-волновое состояние наблюдается при воздействии излучения на частотах вблизи пар: 50,3 и 51,8 ГГц; 64,5 и 65,5 ГГц; 95,0 и 105 ГГц, определённых теоретически с точностью $\pm 0,1$ ГГц. Указанные резонансные дублеты связаны с двумя модами молекулярных колебаний гексогональных фрагментов воды: радиальными и поперечными [4]. Резонансная прозрачность воды наблюдается также на частотах вблизи 64,6 и 65,7 ГГц [3]. Следует отметить, что наиболее значимые эффекты наблюдаются на частотах, совпадающих с линиями поглощения электромагнитных полей молекулярным кислородом [11,12]. Интерес представляет динамика растворенного кислорода под действием электромагнитных полей, образование перекисей и реакция перекисей в воде. Также необходимо учитывать изменения свойств воды, как растворителя, а именно переход от отрицательной к положительной гидротации воды в зависимости от дозы облучения [13].

Установлено, что резонансные спектры воды и биотканей (в состоянии нормы) имеют сходные свойства, однако отличаются по ширине (добротности) резонансных пиков. В тканях основные резонансные максимумы значительно уже, чем у воды, что отражает более высокий уровень структурной организации системы. В состоянии патологии резонансные спектры отклоняются по частоте, амплитуде и добротности [14]. Идентичность резонансных частот биотканей и воды имеет принципиальное значение и указывает на единую физическую природу резонансного состояния в биологических и водных средах.

Таким образом, экспериментальные факты свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения влияния электромагнитных полей непосредственно на воду и водосодержащие среды, а также их влияние при взаимодействии с необлучёнными биологическими объектами.

Наличие подобных эффектов способствует развитию новых механизмов воздействия электромагнитных полей на биообъекты разных классов.

1. Аппаратура и методика измерений.

Облучение электромагнитным полем семян растений и штаммов микроорганизмов, воды и водосодержащих растворов проводилось на специально изготовленном измерительном стенде, включающем в себя генераторы частот, излучатели, объекты для исследований и измерительные приёмники.

В качестве источников облучения в дискретных полосах КВЧ диапазона использовались генераторы Г4-141 (37,5-53,57 ГГц) и Г4-142 (53,57-78,33 ГГц), излучающие мощность $P \leq 5 \text{ мВт}$. Воздействие на биообъекты проводилось в раскрыве рупоров $R1$ и $R2$, площадь каждого из которых в среднем составляла по 40 см^2 , при плотности потока мощности (ППМ) $\cong 0,1 \text{ мВт/см}^2$ и неравномерности облучения не более 3 дБ.

Другим источником физического воздействия электромагнитных полей на исследуемые объекты является генератор Я5Х-272, излучающий шумовой сигнал, создаваемый плазмой газоразрядной лампы ГШ-6А, которая работает в полосе частот $f = 25,86\text{-}37,50 \text{ ГГц}$ (СВЧ-КВЧ). Вносимые потери в "горячем" состоянии достигают 20 дБ, среднее значение спектральной плотности мощности шума (СПМШ) $61 \pm 12 \text{ кТ}_0$. Погрешность значения СПМШ не превышает $\pm 10\%$ при среднем значении стабилизированного тока $I_c = 60\text{-}70 \text{ мА}$. В процессе облучения волноводный выход генератора шума нагружался стандартным рупором площадью сечения 30 см^2 . Исследуемые объекты помещались на расстоянии 5-7 см от плоскости апертуры рупора.

В качестве источника фрактального шума использовался прибор ИВТ-«Порог», разработанный фирмой «Биополис» (г. Киев), который излучает в широкой полосе частот: от высоких до нескольких гигагерц, спектральная плотность в этом случае изменяется по закону f^{-n} , где n - дробные числа. В приборе применяется типовая для «искровых» генераторов система умножения и накопления напряжения с последующим разрядом накопленной ёмкости через специальный импульсный разрядник, сочетающий в себе широкополосный искровой генератор, тракт его согласования с нагрузкой и диэлектрическую антенну, возбуждаемую укороченным штыревым вибратором. В разряднике используются специальные материалы (молибден, нейзильбер), исключающие коррозию и оплавление металла при большом количестве циклов возбуждения и пробоя ($n \geq 10^{12}$). Общая мощность генератора не превышала 2,5 мВт/см².

Объектами для исследования выбраны семена пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г., а также штаммы токсинообразующих коринебактерий: *C.d.gravis tox +*, *C.d.gravis слабо tox +*, *C.d.mitis tox +*, *C.d.belfanti tox +*, *C.ulcerans tox +*, выделенные у больных и носителей за период 2000 - 2002 гг.

Воздействие электромагнитного поля на семена осуществлялось при непосредственном и опосредованном их облучении. Опосредованное воздействие проводилось путём взаимодействия необлучённых семян с предварительно обработанной в электромагнитном поле водой. Семена облучались в дискретных полосах КВЧ диапазона $f = 40,0; 42,2; 50,3; 58,0; 61,0$ и $64,5$ ГГц шумовым КВЧ сигналом и фрактальным шумовым сигналом в течение 1 ч.; в дискретных полосах КВЧ диапазона $f = 50,3$ и $58,0$ ГГц шумовым КВЧ и фрактальным сигналами при времени экспозиции 5 мин., 2 и 3 ч. Предварительная подготовка и наблюдение за семенами проводилась в соответствии с методическими рекомендациями [15]. Влияние электромагнитного поля на семена оценивалось по изменению энергии прорастания (\mathcal{E}_n - количество проросших семян после 72 ч. наблюдения, %), средней длины корней в каждой партии (L_{cp} , мм) и их среднеквадратическому отклонению (СКО).

$$СКО = \sqrt{\frac{(x_i - x_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

где x_i - измеренный показатель биологической активности в каждой партии; x_{cp} - среднее значение показателя в исследуемой выборке; n - количество реализаций.

Отдельная серия экспериментов для изучения прямого и опосредованного воздействия электромагнитного поля были проведены с культурами коринебактерий. Облучение проводилось в дискретных полосах частот КВЧ диапазона $f = 42,2, 50,3, 61,0$ и $64,5$ ГГц при времени экспозиции 8 ч. Непосредственное воздействие осуществлялось на одномиллиардные (10^{-9}) клеточные суспензии коринебактерий ($V = 0,5$ мл), опосредованное - при облучении 1%-го глюкозного бульона ($V = 4,5$ мл) с последующим разведением в нём необлучённых суспензий коринебактерий ($V = 0,5$ мл), а также путём совместного облучения микробов в сахарном бульоне.

Микроорганизмы выращивались при температуре 37° С. В качестве показателя эффективности влияния миллиметрового излучения оценивалось изменение кинетики роста коринебактерий, которое выражалось в единицах оптической плотности (ед. опт. пл.). Для этого через 4, 8 и 18 ч. во всех штаммах определялась оптическая плотность с помощью приборов Densi-La-Meter ($\lambda = 540$ нм) и КФК-2 ($\lambda = 540$ нм, $L = 10$ мм).

Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась по критерию Стьюдента с использованием программы «Биостат».

2. Обсуждение результатов воздействия. При непосредственном воздействии низкочастотным электромагнитным полем на семена пшеницы, имеющей в контроле высокие показатели биологической активности ($\mathcal{E}_n = 93,5\%$, $L_{cp} = 25,6$ мм), наблюдается их изменение. Результаты исследований приведены в табл. 1.

При оценке полученных результатов видно, что величина биологического отклика при заданных режимах облучения зависит от времени воздействия сигнала.

Анализ изменения энергии прорастания семян пшеницы «Одесская - 267» показал, что облучение в течение одного часа не приводит к достоверным изменениям, при этом наблюдается общая тенденция стимуляции относительно контроля (рис. 1). Средняя длина корней претерпевает достоверные изменения при облучении в дискретных полосах частот 42,2; 50,3 и 58,0 ГГц, так L_{cp} увеличивается примерно в 1,3 раза. Воздействие в частотных диапазонах 61,0; 64,5 ГГц и шумовыми сигналами к достоверным изменениям показателей не приводит и в среднем способствует угнетению L_{cp} (рис. 2).

Уменьшение времени экспозиции сигнала до пяти минут и его увеличение до двух и трех часов, согласно полученным данным, оказалось более эффективным. При этом наблюдается угнетение всех исследуемых показателей (рис. 1, 2).

Таблица 1

Влияние электромагнитного поля на показатели биологической активности семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г. (* - статистическая достоверность $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$)

Режим воздействия		Показатели биологической активности			
		\mathcal{E}_n , %		L_{cp} , мм	
f , ГГц	T , ч.	\mathcal{E}_n	СКО	L_{cp}	СКО
контроль		93,5	3,6	25,6	6,5
50,3	0,08	93,8	2,4	23,0	3,7
58,0	0,08	86,0 **	4,8	9,3 **	2,5
КВЧ шум	0,08	92,6	5,4	18,4 **	2,0
ИВТ	0,08	90,6 *	4,9	11,6 **	4,8
40,0	1	94,7	5,0	30,1	7,0
42,2	1	94,0	1,6	32,0 *	2,6
50,3	1	95,3	1,8	32,3 *	5,0
58,0	1	93,9	3,5	30,2 *	3,7
61,0	1	94,7	4,2	25,2	8,8
64,5	1	95,5	2,5	17,3 *	2,5
КВЧ шум	1	94,7	3,1	23,8	3,6
ИВТ	1	95,0	4,1	24,6	7,7
50,3	2	86,5 **	3,3	20,2 *	2,3
58,0	2	89,7 **	5,3	17,2 *	4,1
КВЧ шум	2	87,4 **	6,6	21,3	5,0
ИВТ	2	88,5 **	3,9	11,3 **	5,4
50,3	3	88,3 **	4,3	19,5 *	5,5
58,0	3	89,3 *	3,1	20,2 *	2,8
КВЧ шум	3	89,6 *	4,3	17,3 *	3,7
ИВТ	3	88,3 **	3,2	20,2 *	4,1

Достоверные результаты при пятиминутном воздействии электромагнитного поля на семена получены при обработке в частотном диапазоне 58,0 ГГц (\mathcal{E}_n уменьшилась в 1,1 раза, L_{cp} - в 2,7 раза) фрактальным шумовым сигналом (\mathcal{E}_n - в 1,03 раза, L_{cp} - в 2,2 раза) и шумовым сигналом в КВЧ диапазоне, где изменения наблюдаются толь-

ко при оценке L_{cp} (в 1,2 раза). Облучение в течение двух и трех часов привело к достоверному угнетению при всех режимах воздействия. Наибольшее снижение \mathcal{E}_n (в 1,1 раза) наблюдается при $f=50,3$ ГГц в течение двух часов, а наибольшее снижение L_{cp} - при облучении фрактальным шумовым сигналом в течение двух часов (в 2,3 раза).

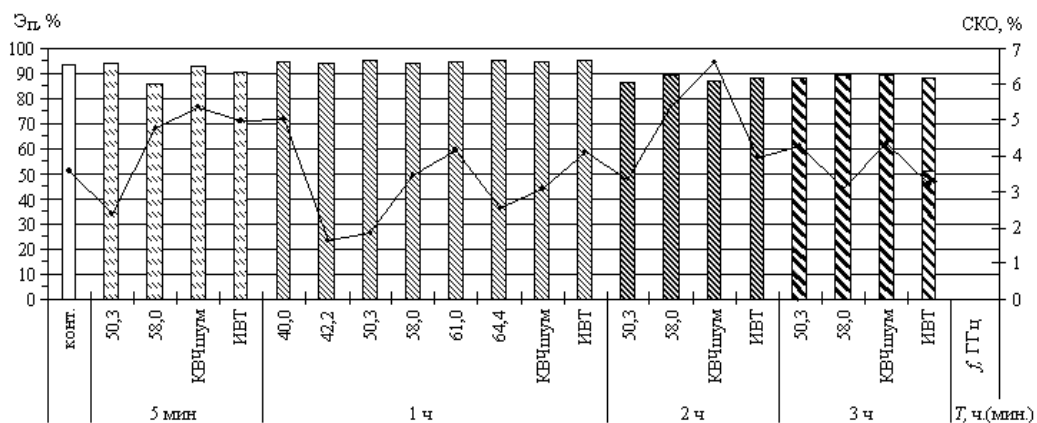


Рис. 1. Изменение энергии прорастания при непосредственном облучении электромагнитным полем семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г.

Оценка экспериментальных данных выявила наличие дисперсионной зависимости от частоты излучения, которая особенно прослеживается

в изменении средней длины корней (рис. 2). Наибольшие флуктуации биологического отклика от частоты излучения наблюдаются при пятиминут-

ном облучении. Так, воздействие в частотном диапазоне 58,0 ГГц шумовым КВЧ сигналом и фрактальным шумом приводит в разной степени к угнетению рассматриваемого показателя в 2,8; 1,2 и 2,2 раза соответственно, а воздействие на частоте 50,3 ГГц не вызывает достоверных изменений L_{cp}

по отношению к контролю. При увеличении времени воздействия до трех часов дисперсионная зависимость от частоты менее выражена. Так, при облучении в диапазонах 50,3; 58,0 шумовым КВЧ сигналом и фрактальным шумом угнетение L_{cp} составляет 1,3; 1,6; 1,5 и 2,0 раза соответственно.

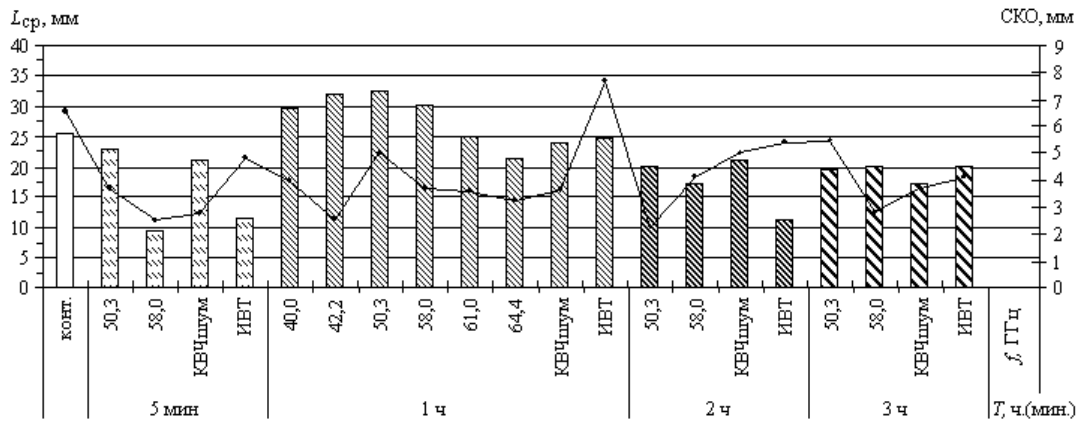


Рис. 2. Изменение средней длины корней при непосредственном облучении электромагнитным полем семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г.

Следует отметить, что биологический отклик на внешнее электромагнитное поле проявляется в уменьшении стабильности результатов в исследуемых партиях, т. е. наблюдается увеличение СКО. Особенно заметно это при оценке средней длины корней пшеницы после облучения фрактальным шумом. Так, двухчасовая экспозиция способствует уменьшению L_{cp} , что должно, в свою очередь, при-

вести к уменьшению СКО (1), однако наблюдается противоположный результат (табл. 1).

Для верификации предполагаемых механизмов взаимодействия электромагнитных полей с биологическими объектами была поставлена серия экспериментов, в которых облучение семян проводилось опосредованно. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Опосредованное влияние электромагнитного поля на показатели биологической активности семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г. (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$)

Режим воздействия		Показатели биологической активности			
		$\mathcal{E}_n, \%$		$L_{cp}, \text{мм}$	
$f, \text{ГГц}$	$T, \text{ч.}$	\mathcal{E}_n	СКО	L_{cp}	СКО
контроль		93,5	3,6	25,6	6,5
50,3	0,08	82,6 **	5,3	15,8 **	3,4
58,0	0,08	90,3 *	3,4	17,0 **	3,7
КВЧ шум	0,08	89,3 *	6,0	12,4 **	4,4
ИВТ	0,08	90,5 *	5,9	15,0 **	5,5
50,3	1	92,7	5,8	29,7	5,0
58,0	1	96,7	1,2	27,8	6,0
КВЧ шум	1	86,0 *	2,8	7,0 **	3,8
ИВТ	1	87,3 *	6,4	16,2 *	2,9
50,3	2	89,5 *	3,0	20,3 *	3,6
58,0	2	89,6 *	4,1	16,4 **	4,3
КВЧ шум	2	87,3 **	5,0	16,5 **	5,5
ИВТ	2	88,0 **	5,1	10,8 **	7,9
50,3	3	90,6 *	3,2	19,3 *	5,2
58,0	3	88,7 **	4,5	16,2 **	6,7
КВЧ шум	3	90,9 *	3,3	17,6 *	4,1
ИВТ	3	90,0 *	5,9	12,6 **	6,2

Согласно экспериментальным данным опосредованное облучение семян пшеницы «Одесская-267» способствовало достоверному угнетению

нию \mathcal{E}_n и L_{cp} при всех режимах облучения за исключением воздействия в течение одного часа в частотных диапазонах 50,3 и 58,0 ГГц (рис. 3).

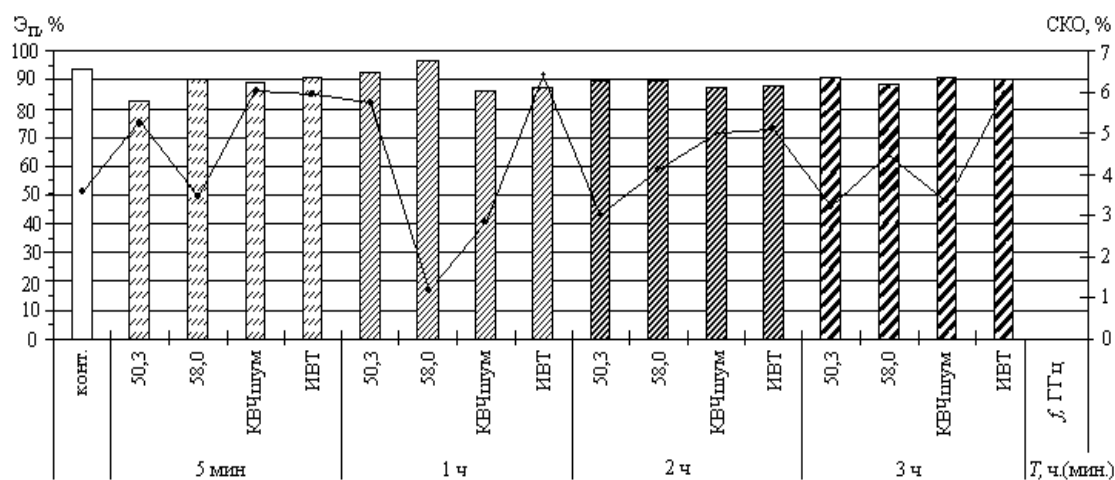


Рис. 3. Изменение энергии прорастания при опосредованном облучении электромагнитным полем семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г.

При рассмотрении полученных результатов наблюдается немонокотонная зависимость эффективности воздействия электромагнитного поля от времени экспозиции сигнала, что особенно проявляется в изменении средней длины корней. Например, взаимодействие семян с водой, облучённой на частоте 50,3 ГГц в течение пяти минут, приводит к уменьшению L_{cp} в 1,6 раз, в течение одного часа - наблюдается тенденция увеличения

длины, двух- и трёхчасовое воздействие способствует уменьшению примерно в 1,3 раза относительно контроля. Взаимодействие семян с водой, обработанной шумовым сигналом в КВЧ диапазоне в течение 5 мин. приводит к уменьшению L_{cp} в 2,1 раза, 1 ч. - к уменьшению в 3,7 раза, а двух и трёх часовое воздействие приводит к угнетению примерно в 1,5 раза (рис. 4).

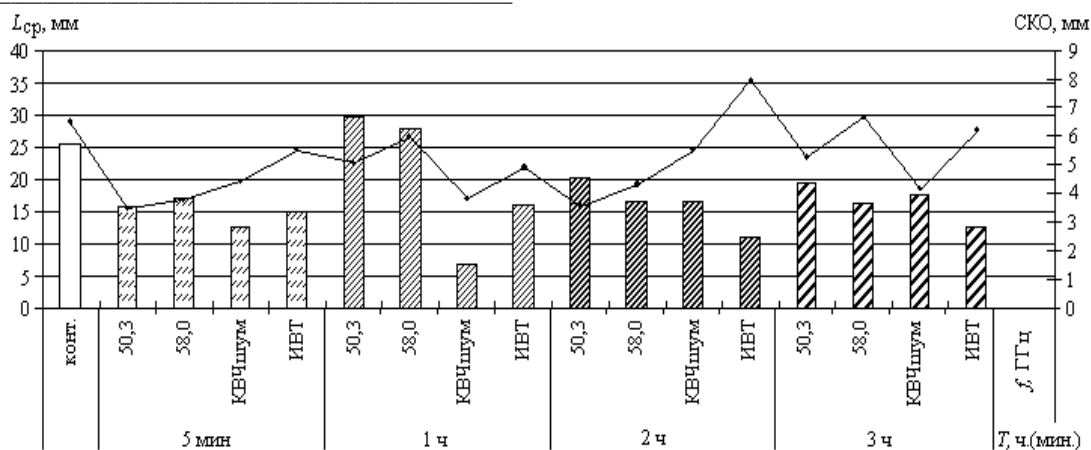


Рис. 4. Изменение средней длины корней при опосредованном облучении электромагнитным полем семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г.

Таким образом, помимо временной зависимости наблюдается дисперсионная зависимость от частоты излучения. Эффективным является облучение воды в дискретных полосах частот КВЧ диапазона и шумовыми сигналами. Наибольшие отличия в изменении L_{cp} отмечаются в случае, когда облучение проводилось в течение

одного часа. При этом воздействие в дискретных полосах частот способствовало стимуляции \mathcal{E}_n и L_{cp} , а фрактальный и КВЧ шумовый сигналы привели к снижению \mathcal{E}_n и особенно L_{cp} (рис. 3, 4).

Сравнивая результаты прямого и опосредованного облучения семян растений электромагнитным полем низкой интенсивности (табл. 1

и 2), видно, что при взаимодействии семян с облучённой водой биологический отклик наблюдается при её обработке в тех режимах, которые считались малоэффективными при непосредственном облучении семян. Величина биологического отклика в среднем увеличилась как для \mathcal{E}_n , так и для L_{cp} . Например, непосредственное облучение привело в среднем к снижению \mathcal{E}_n в 1,03 раза, а L_{cp} - в 1,4 раза; опосредованное воздействие в среднем способствовало снижению \mathcal{E}_n в 1,05 раза, а L_{cp} - в 1,7 раза.

Следует отметить, что при анализе L_{cp} опосредованное воздействие миллиметрового из-

лучения также приводит к увеличению СКО в отдельных режимах облучения, что особенно проявляется при обработке фрактальным и КВЧ шумовыми сигналами.

Отдельная серия экспериментов была проведена для изучения прямого и опосредованного влияния электромагнитного поля на биообъекты, принадлежащие другому классу, а именно на культуры бактерий. Результаты измерений оптической плотности штаммов коринебактерий, как показателя кинетики роста после прямого и опосредованного воздействия КВЧ излучения, приведены в табл. 3.

Таблица 3
Средние показатели кинетики роста коринебактерий при прямом и опосредованном воздействии КВЧ излучения (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$)

f , ГГц	42,2 ГГц			50,3 ГГц		
T инкубации, ч	4	8	18	4	8	18
Объект воздействия						
Контроль, ед. опт. пл.	0,052 ± 0,003	0,105 ± 0,003	0,308 ± 0,018	0,055 ± 0,004	0,106 ± 0,004	0,306 ± 0,016
Суспензии бактерий, ед. опт. пл.	0,033 ± 0,004**	0,084 ± 0,003*	0,308 ± 0,005	0,0545 ± 0,004	0,1095 ± 0,004	0,311 ± 0,018
Сахарный бульон, ед. опт. пл.	0,029 ± 0,003**	0,076 ± 0,004*	0,297 ± 0,015	0,0575 ± 0,003	0,108 ± 0,005	0,314 ± 0,008
Суспензии бактерий в сахарном бульоне, ед. опт. пл.	0,027 ± 0,002**	0,075 ± 0,003*	0,311 ± 0,008	0,0585 ± 0,002	0,108 ± 0,005	0,314 ± 0,016
f , ГГц	61,0 ГГц			64,5 ГГц		
T инкубации, ч	4	8	18	4	8	18
Объект воздействия						
Контроль, ед. опт. пл.	0,055 ± 0,002	0,105 ± 0,002	0,305 ± 0,014	0,0535 ± 0,002	0,108 ± 0,004	0,310 ± 0,01
Суспензии бактерий, ед. опт. пл.	0,11 ± 0,006**	0,123 ± 0,004*	0,314 ± 0,02	0,0585 ± 0,002	0,108 ± 0,005	0,322 ± 0,017
Сахарный бульон, ед. опт. пл.	0,12 ± 0,007**	0,136 ± 0,007*	0,320 ± 0,014	0,0555 ± 0,002	0,109 ± 0,003	0,31 ± 0,014
Суспензии бактерий в сахарном бульоне, ед. опт. пл.	0,12 ± 0,007**	0,121 ± 0,007*	0,321 ± 0,012	0,0574 ± 0,002	0,110 ± 0,002	0,314 ± 0,008

Согласно приведенным данным биологический отклик бактерий зависит от частоты облучения. Эффективными оказались частоты 42,2 и 61,0 ГГц. Воздействие на частоте 42,2 ГГц привело к снижению прироста биомассы, а на частоте 61,0 ГГц - к её увеличению (рис. 5).

Облучение в полосах частот 50,3 и 64,5 ГГц не привело к статистически достоверным изменениям. Заметные отличия прироста биомассы от контроля наблюдались через четыре часа инкубации. Так, при воздействии

$f = 42,2$ ГГц после четырёх часового термостатирования снижение в среднем составило 1,6 раз, а через 18 ч. культивирования прирост биомассы увеличился и вышел на уровень контроля. При воздействии $f = 61,0$ ГГц через четыре часа инкубации наблюдался наибольший прирост биомассы, в среднем примерно в два раза. После восьми часов инкубации культур он снизился и через 18 ч. - во всех экспериментах показатели концентрации микробных клеток практически

сравнились с показателями в контроле. Заметим, что бактерии оказались чувствительными к внешнему воздействию электромагнитного поля не только при их непосредственном облучении, но и при выращивании необлученных культур в предварительно облученном сахарном бульоне. Так, при обработке на частоте 42,2 ГГц угнетающий эффект кинематики роста был примерно одинаков при всех трёх режимах воздействия. На частоте 61,0 ГГц через четыре часа инкубации стимуляция проявляется лучше при облучении сахарного бульона и ещё более выражена при совместном облучении бактерий в бульоне. Интересным оказывается тот факт, что в экспериментах различные варианты штаммов коринебак-

терий были неодинаково чувствительными к облучению. При воздействии $f = 42,2$ ГГц самыми чувствительными оказались *C.d.belfanti* tox +; *C.ulcerans* tox + и *C.d.gravis* tox +; у них наблюдалось наибольшее снижение прироста биомассы (в 1,59; 1,47; 1,96 раз соответственно). При облучении $f = 61,0$ ГГц наиболее чувствительными оказались *C.d.belfanti* tox + и *C.d.gravis* tox +, прирост их биомассы составил 2,14 и 2,56 раз соответственно, а штаммы *C.ulcerans* tox + показали наименьший результат (в 1,8 раз). При этом чувствительность меняется как с течением времени наблюдения, так и в зависимости от режима воздействия.

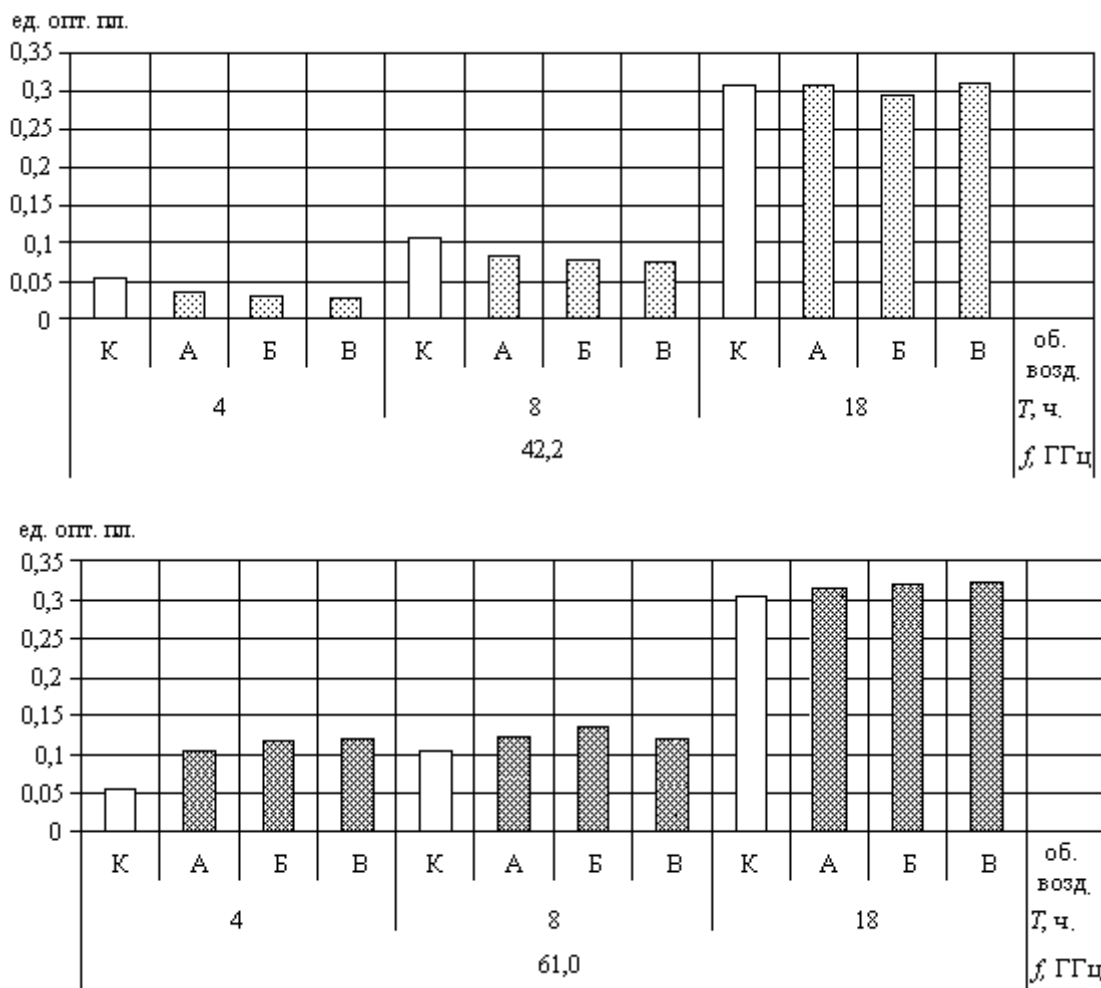


Рис. 5. Изменение кинетики роста в течение инкубации коринебактерий при воздействии электромагнитного поля: А - на суспензии бактерий; Б - на сахарный бульон; В - на суспензии бактерий в сахарном бульоне; К - контрольные штаммы

Выводы. В результате прямого и опосредованного облучений низкоинтенсивными электромагнитными полями семян растений и штаммов патогенных коринебактерий наблюдается неспецифическое воздействие на показатели их биологической активности. Для семян растений

это проявляется в изменении энергии прорастания средней длины корней и в уменьшении стабильности результатов в партиях при определенных режимах воздействия, особенно при обработке фрактальным шумом. Для культур бактерий - в изменении их ростовых качеств.

Согласно экспериментальным данным биологический отклик семян растений и микроорганизмов, полученный путём опосредованного воздействия, больше чем при непосредственном облучении семян.

Для семян растений отмечается немонотонная зависимость биологического отклика от времени воздействия, как при непосредственном, так и при опосредованном воздействии.

Выявлена дисперсионная зависимость от частоты облучения, которая определяется величиной и знаком биологического отклика. Следует отметить индивидуальную чувствительность к внешнему воздействию в зависимости от класса биообъекта. Так, для семян растений облучение в дискретных полосах КВЧ диапазона 50,3 и 58,0 ГГц, КВЧ шумовым и фрактальным сигналами в основном приводят к угнетению исследуемых показателей при их высоких начальных значениях. Для культур патогенных коринебактерий воздействие в диапазоне частот 42,2 ГГц приводит к угнетению биомассы, а 61,0 ГГц - к её увеличению; частоты 50,3 и 64,5 ГГц оказались не эффективными при исследовании воздействия на данный показатель. Таким образом, появляется возможность посредством внешнего электромагнитного воздействия целенаправленно модифицировать показатели биологической активности.

Экспериментально подтверждено предположение о значительной роли воды в восприятии биообъектами электромагнитного излучения, что является важным в понимании механизма взаимодействия их с электромагнитным полем.

В заключение отметим, что обнаруженные в работе неинвариантности показателей биологической активности семян растений и микроорганизмов при их прямом и опосредованном облучениях электромагнитным полем в широком диапазоне частот оказывают влияние на устойчивость биоценозов в условиях изменяющегося электромагнитного фона биосферы, могут быть основой при создании новых перспективных технологий в сельском хозяйстве и медицине, а также оказывают влияние на общее состояние окружающей среды.

1. *Бецкий О. В., Голант М. Б., Девятков Н. Д.* Миллиметровые волны в биологии. - М.: Знание, 1988. - 63 с.
2. *Бецкий О. В., Лебедева Н. Н., Котровская Т. И.* Стохастический резонанс и проблема воздействия слабых сигналов на биологические системы // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 2002. - №3, (27). - С.3-11.
3. *Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А. и др.* Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №1. - С.34-40.
4. *Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А., Башкатов О. В.* Взаимодействие водосодержащих сред с магнитными полями // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №2. - С.10-17.

5. *Гапочка Л. Д., Гапочка М. Г., Королёв А. Ф. и др.* Механизмы функционирования водных биосенсоров электромагнитного излучения // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №3. - С.48-55.
6. *Шейн А. Г., Кривонос Н. В.* Обоснование некоторых эффектов воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на живой организм с помощью триггерной модели // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2003. - №4. - С.12-22.
7. *Шейн А. Г., Никулин Р. Н.* Подходы к моделированию воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты низкой интенсивности на ионный транспорт веществ через биологические мембраны // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2003. - №4. - С.4-11.
8. *Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А. и др.* Вода, парадоксы и величие малых величин // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №2. - С.4-9.
9. *Бецкий О. В., Ярёмченко Ю. Г.* Кожа и электромагнитные волны // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 1998. - №1, (11). - С.3-14.
10. *Быстров В. С.* Динамика систем с водородными связями // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №3. - С.34-40.
11. *Мантрова Г. М., Яковлева М. Н.* Изменение диэлектрических параметров воды, находящейся вблизи межфазных границ, в зависимости от температуры // Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. - 1986. - 83 с.
12. *Авдеенко В. С., Калюжный И. И., Креницкий А. П. и др.* Влияние электромагнитных КВЧ-колебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональное состояние эритроцитов крови животных // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2003. - №2. - С.29-36.
13. *Звериковский И. В., Лошицкий П. П., Пойгина М. И., Чичинадзе Ж. А.* Микроволновые технологии в агробиологии и медицине // Мат. 7-й Международной крымской микроволновой конф. - 1997. - С.102-105.
14. *Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А. и др.* Лазеростимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №2. - С.52-57.
15. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания. ГОСТ 10968-88. - М.: Изд-во стандартов. - 5 с.

THE FEATURES OF DIRECT AND INDIRECT INFLUENCE SMALL MICROWAVES INTENSITY ON SEEDS AND MICROORGANISMS

O. I. Kovalenko, F. V. Kivva,
S. V. Kalinichenko, A. L. Kovorotniy

During 2003 - 2005 the systematic experimental investigation of peculiarity influence of microwaves small intensity on seeds and corinebacterium is carried. The two ways were realized: in first time influence was operated on water and then bioobject, ring other time - in opposite directions.

In K and Q band we used standard generators G4-141 and G4-142 when operated in describe band $f = 37,5 - 18,33$ GHz. In wide band noise fractal signals, including low and high frequency, the influence was carried out in difference.

It shows that possibility long time of modification the functional property the biological objects by electromagnetic way. The biological results are function of frequency, band width, the capable of modulation and the average energy of field. The biological effects are especially interesting in case when influence was executed by means of water.

Key worlds: electromagnetic waves, bioobject, seeds of plant, corinebacterium, influence, stimulation, oppression, water and other solutions.

ОСОБЛИВОСТІ ПРЯМОГО ТА
ПОСЕРЕДКОВАННОГО ВПЛИВУ ЕМП МАЛОЇ
ПОТУЖНОСТІ НА НАСІННЯ РОСЛИН ТА
МІКРООРГАНІЗМИ

О. І. Коваленко, Ф. В. Ківва,
С. В. Калініченко, О. Л. Коворотний

На протязі 2003-2005 рр. проведені систематичні дослідження впливу електромагнітного поля малої потужності на біологічні об'єкти різних класів (насіння рослин та мікроорганізми) при прямому їх опроміненні, а також опосередковано, шляхом взаємодії біоб'єктів з попередньо опроміненою водою та водними розчинами.

Опромінення проводилося в дискретних смугах надзвичайно високого діапазону (НЗВЧ), широкосмуговим шумовим сигналом, який перекриває надвисокий (НВЧ) і

НЗВЧ діапазони ($f = 25,86 - 37,50$ ГГц), а також фрактальним шумовим випромінюванням в широкій смузі частот.

Показана можливість електромагнітної модифікації функціональних показників шляхом прямого та опосередкованого опромінення біологічних об'єктів, виявлені загальні закономірності і різниця ефективності впливу. Показана залежність біологічного відгуку від частоти, ширини спектру, виду модуляції сигналу, а також від загального енергетичного навантаження. Особливої уваги заслуговують ефекти при опосередкованому впливі електромагнітного поля на біоб'єкти.

Ключові слова: електромагнітне поле, біоб'єкт, насіння рослин, мікроорганізми, прямий та опосередкований вплив, вода, водні розчини.

Рукопись поступила 11 декабря 2006 г.