

УДК 528.811 (1-021)

МОДИФИКАЦІЯ БІОЛОГІЧЕСКОЇ АКТИВНОСТІ СЕМ'ЯН ПШЕНИЦІ
НИЗКОІНТЕНСИВНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ*Коваленко О.И., м.н.с., Кивва Ф.В., д. ф - м. н., проф.**ІРЭ НАН України ім. А.Я. Усикова**61085, г. Харків, ул. Ак. Проскури, 12**E-mail: ire@ire.kharkov.ua**Литвин В.В., асп.**ХНАУ ім. Н.Е. Жуковського (ХАИ)**61085, г. Харків, ул. Чкалова, 17, каф.502*

Розглянута можливість електромагнітної модифікації показників біологічної активності залежно від їх вихідного стану, у тому числі частково відновлювати втрачені раніше властивості та збільшувати стійкість насіння до зовнішнього пригнічення. Відмічена різниця біологічного відклику при безпосередньому та опосередкованому опроміненні насіння, а також відмінності ефектів дії ЕМП у дискретних полосах КВЧ-діапазону та широкополосними шумовими сигналами залежно від загального енергетичного навантаження.

Ключові слова: електромагнітне поле, біооб'єкт, насіння рослин, вихідний рівень, безпосереднє та опосередковане опромінення.

The possibilities of modification the biological activity of seeds wheat by broad band electromagnetic radiation of low intensity are considered. It is show that biological output are dependence by spectral organization of signals and so initial state of seeds. The results of radiation the seeds directly and by means radiated water is different. The features of the influence EMV in the discrete band of microwave and by the broadband noise signals are found out, and also dependence of efficiency of influence from the general power loading.

Key words: electromagnetic field, bioobject, seed of plants, initial, level influence, stimulation oppression.

Введение. В течение 2003-2007 гг. проведены радиофизические исследования влияния низкоинтенсивных широкополосных электромагнитных полей (ЭМП) на семена растений, в том числе путём взаимодействия необлучённых семян с водой, предварительно обработанной ЭМП. Биологический отклик оценивался в зависимости от исходного состояния посевного материала. Рассмотрена возможность восстановления ранее сниженных показателей биологической активности, а также увеличение устойчивости семян к неблагоприятным факторам внешних воздействий. Для контролируемого угнетения использовалось тепловое воздействие вблизи температуры денатурации белка.

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

Анализ литературных данных. Многочисленные экспериментальные факты, обнаруженные в различных областях радио- и геофизики, биологии, экологии, медицины, сельского хозяйства и др. показывают, что естественные и антропогенные поля (ЭМП) не только сопровождают эволюционные процессы, происходящие на Земле и в Космосе, но и являются фактором, необходимым для возникновения, развития, адаптации живого на Земле в условиях экспоненциально нарастающей антропогенной нагрузки [1].

За несколько последних десятилетий особый интерес вызывают широкополосные ЭМП, которые по интенсивности соизмеримы с излучением самих биообъектов (БО), однако организованные специальным образом, в том числе модулированные по амплитуде, фазе и частоте детерминированными и (или) случайными сигналами, а также имеющие особенности, близкие к эволюционным процессам, происходящими на Земле и в Космосе. К ним, в частности, относятся фрактальные сигналы и сигналы, содержащие в своем спектре биоритмические компоненты, когерентные сигналы, присущие живому вследствие его самоорганизации на клеточном, организменном и популяционном уровнях и др. [2-4].

В известных моделях Девяткова, Фрьолиха, Чернавского и др. [5] общим является признание эволюционного характера возникновения и адаптации живого к внешним условиям, наличие собственного электромагнитного поля как фактора, сопутствующего жизни, наличие резонансных взаимодействий не только между средой и живым, но и между отдельными структурами живого, а также внутренних (когерентных и некогерентных) взаимодействий между различными структурами, которые являются элементами адаптации живого при изменяющихся внешних условиях.

Среди основных механизмов, реализующих взаимодействие, исследованы акустические и электромагнитные волновые процессы, распространяющиеся в окружающем пространстве со скоростями

звука и света в веществе, а также другие возможности, в том числе резонансные взаимодействия в водосодержащих средах между биомакромолекулами, их отдельными составляющими и средой [6-8].

В одной из моделей резонансные спектры воды и биотканей (в состоянии нормы) имеют сходные свойства, однако отличаются по ширине резонансных пиков, что свидетельствует о единой физической природе резонансного состояния в биологических и водных средах [9]. Таким образом, возникает необходимость дальнейшего изучения влияния электромагнитных полей непосредственно на воду, а также её влияние при взаимодействии с необлучёнными биологическими объектами.

В известных опытах [10, 11] наиболее значимые эффекты наблюдаются на частотах, совпадающих с линиями поглощения электромагнитных полей атомами азота - 40,0 и 42,2 ГГц, водорода - 50,3 и 58,0 ГГц, а также молекулярным кислородом 61,0 и 64,5 ГГц. Немаловажными являются процессы образование перекисей в воде под действием ЭМП. Также необходимо учитывать изменения свойств воды как растворителя а именно переход от отрицательной к положительной гидратации воды в зависимости от дозы облучения.

Помимо специфических особенностей внешнего воздействующего фактора (рабочей частоты, плотности потока мощности, продолжительности и кратности облучения, вида модуляции), реакция организма определяется его индивидуальными особенностями, порогом чувствительности к данному виду воздействия и наличием механизмов адаптации. Важно учитывать, что эффективность электромагнитных воздействий зависит от исходного уровня организма и направлена на поддержание функции гомеостаза. При отклонении организма от состояния нормы приводятся в действие механизмы, направленные на возвращение к исходному уровню. Процессы, протекающие при этом, как правило, являются колебательными [12].

Большое количество работ посвящено изучению биологической активности с/х растений [10, 13, 14], в которых показаны возможности посредством внешних электромагнитных полей оказывать биостимулирующее воздействие, изменять устойчивость к неблагоприятным факторам, а также уничтожать поверхностные инфекции и бороться с сорняками.

Цель работы. Исследование жизнеспособности семян пшеницы под действием внешних электромагнитных полей низкой интенсивности в дискретных полосах частот КВЧ-диапазона и широкополосными КВЧ- и фрактальными сигналами, оценка зависимости от исходного состояния исследуемых объектов и возможность увеличения их теплоустойчивости, определение роли воды в передаче электромагнитной информации.

Материалы и результаты исследований. Обработка ЭМП БО проводилась на специально изготовленном измерительном стенде, описанном нами ранее [15].

Источниками облучения в дискретных полосах КВЧ-диапазона использовались стандартные генераторы Г4-141 (37,5-53,57 ГГц) и Г4-142 (53,57-78,33 ГГц), излучающие мощность $P \leq 5$ мВт. БО располагались в раскрыве рупоров R1 и R2, площадь каждого из которых составляла ~ 40 см² при плотности потока мощности (ППМ) $\cong 0,1$ мВт/см² и неравномерности облучения не более 3 дБ.

Для обработки прямошумовым КВЧ-сигналом применялся генератор Я5Х-272, работающий в шумовом режиме немодулированных колебаний в диапазоне частот $f=25,86-37,50$ ГГц (СВЧ-КВЧ), при среднем значении спектральной плотности мощности шума (СПМШ) 61 ± 12 кТ₀, с погрешностью не более $\pm 10\%$.

Волноводный выход генератора шума нагружался стандартным рупором площадью сечения 30 см². Исследуемые объекты помещались на расстоянии 5-7 см от плоскости апертуры, т.е. в ближней зоне.

В качестве источника фрактального шума использовался прибор ИВТ-“Порог”, разработанный фирмой “Биополис” (г. Киев), излучающий в широкой полосе частот – от ВЧ до СВЧ. В нём спектральная плотность шума изменялась по закону f^{-n} , где n – дробные числа в диапазоне 2-4. Общая плотность потока мощности генератора не превышала предельно-допустимых уровней, установленных для населения Украины.

Тепловая обработка семян проводилась в водяном термостате типа U10 (Ultra – thermostat), позволяющем обеспечить постоянство заданной температуры с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

При проращивании семян для обеспечения постоянной температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$) и исключения экранирующего действия металла использовался специально изготовленный воздушный термостат из материала, обладающего низкой теплопроводностью и без экранирования ЭМП.

Объектами для исследования выбраны семена пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г.

Изучение биологического отклика на внешнее воздействие ЭМП проводилось в зависимости от исходного уровня показателей исследуемых объектов. Для этого облучались семена в состоянии «норма» и со сниженными показателями всхожести после теплового угнетения. В другой серии экспериментов оценивалось изменение теплоустойчивости семян путём предварительного облучения ЭМП и последующего угнетения теплом. Во всех случаях воздействие ЭМП на семена осуществлялось при непосредственном и опосредованном их облучении. Опосредованное воздействие проводилось при взаимодействии необлучённых семян с предварительно обработанной водой в ЭМП.

Семена облучались в дискретных полосах КВЧ диапазона $f=50,3$ и $58,0$ ГГц, шумовым КВЧ и фрактальными сигналами при времени воздействия 1, 2 и 3 часа. Тепловая обработка проводилась при $t=56^\circ\text{C}$ в течении 10 мин. Время между электромагнитным и тепловым воздействиями составляло 5 мин.

Предварительная подготовка и наблюдение за семенами проводились в соответствии с [16]. Влияние ЭМП на семена оценивалось по изменению энергии прорастания (Ξ_n - количество проросших семян после 72 часов наблюдения, в %) средней длины корней в каждой партии (L_{cp} , в мм) и их среднеквадратическому отклонению (СКО) за это же время.

Доверительные интервалы оценивались по критерию Стьюдента [17, 18]. Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась с использованием программы «Биостат».

Особенности прямого и опосредованного воздействия ЭМП на семена пшеницы. Облучению

низкоинтенсивным ЭМП подвергались семена пшеницы «Одесская – 267» урожая 2001 г. с высокими исходными показателями в контроле $\Xi_n=93,5\pm 3,6\%$, $L_{cp}=25,6\pm 6,5$ мм. Исследуемая партия семян не испытывала предварительных физических воздействий, которые могли существенно повлиять на их биологическую активность, поэтому условно принимается состояние семян в контроле соответствующее «норме». Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о наличии биологического отклика исследуемого посевного материала в состоянии «норма» при определённых режимах облучения.

Таблица 1 – Влияние ЭМП на показатели биологической активности семян пшеницы «Одесская – 267» урожая 2001 г. (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$)

Режим воздействия ЭМП		Показатели биологической активности			
		Ξ_n , %		L_{cp} , мм	
f, ГГц	T, час	Ξ_n	СКО	L_{cp}	СКО
Контроль		93,5	3,6	25,6	6,5
50,3	1	95,3	1,8	32,3 *	5,0
58,0	1	93,9	3,5	30,2 *	3,7
КВЧ шум	1	94,7	3,1	23,8	3,6
ИВГ	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
ИВГ	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
ИВГ	3	88,3 **	3,2	20,2 *	4,1

Как видно из табл. 1, наблюдается зависимость величины биологического отклика от времени воздействия сигнала. Анализ изменения энергии прорастания семян пшеницы «Одесская – 267» показал, что облучение в течение 1 часа не приводит к достоверным изменениям. В этом случае наблюдается общая тенденция стимуляции показателей (табл. 1). При оценке изменения средней длины корней достоверные изменения происходят при облучении в дискретных полосах частот 50,3 и 58,0 ГГц, при этом L_{cp} увеличилось в 1,3 раза. Воздействие шумовыми сигналами к достоверным изменениям показателей не приводит и в среднем способствует угнетению L_{cp} . Увеличение экспозиции сигнала до 2-х и 3-х часов оказалось более эффективным. При этом наблюдаются достоверные угнетение всех исследуемых показателей (табл. 1). Наибольшее снижение Ξ_n (в 1,1 раза) отмечается при $f=50,3$ ГГц – 2 часа, а наибольшее снижение L_{cp} - при облучении фрактальным шумовым сигналом в течение 2 часов (в 2,3 раза).

Таким образом, облучение семян, имеющих высокие исходные показатели, приводит в большинстве случаев к их угнетению. Полученные результаты свидетельствуют о наличии дисперсионной зависимости от частоты облучения и времени экспозиции.

Отметим тот экспериментальный факт, что с увеличением времени облучения в дискретных полосах КВЧ-диапазона наблюдается тенденция увеличения эффективности воздействия, а при облучении фрактальным шумом имеет место обратная тенденция – снижение эффективности воздействия. Следует отметить, что биологический отклик на внешнее ЭМП проявляется в уменьшении стабильности результатов в исследуемых партиях, т.е. наблюдается увеличение СКО, что особенно заметно при оценке средней длины корней пшеницы после облучения фрактальным шумом.

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.

Согласно экспериментальным данным опосредованное облучение семян пшеницы «Одесская-267» способствовало достоверному угнетению Ξ_n и L_{cp} при всех режимах облучения за исключением воздействия в течение 1 часа в частотных диапазонах 50,3 и 58,0 ГГц (табл. 2).

При рассмотрении полученных результатов наблюдается немонотонная зависимость эффективно-

сти воздействия электромагнитного поля от экспозиции, что особенно проявляется в изменении средней длины корней. Например, взаимодействие семян с водой, облученной на частоте 50,3 ГГц в течение 1 часа, вызывает тенденцию 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 1 час приводит к уменьшению длины в 3,7 раза, а двух и трёх часо-

вое воздействие приводит к угнетению примерно в 1,5 раза (табл. 2). 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 1 часа. При этом воздействие в дискретных полосах частот способствовало стимуляции \mathcal{E}_n и L_{cp} , а фрактальный и КВЧ шумовой сигналы привели к снижению \mathcal{E}_n и L_{cp} (табл.2).

Таблица 2 – Опосредованное влияние электромагнитного поля на показатели биологической активности семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г. (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$)

Режим воздействия ЭМП на воду		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	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

Сравнивая результаты прямого и опосредованного облучения семян растений электромагнитным полем низкой интенсивности (табл. 1 и 2), видно, что взаимодействие семян с облученной водой увеличивает биологический отклик как при оценке \mathcal{E}_n , так и 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 излучения также приводит к увеличению СКО в отдельных режимах облучения, что особенно проявляется при обработке фрактальным и КВЧ шумовыми сигналами.

Представляет интерес изучение биологического отклика семян растений на внешнее ЭМП, исходные показатели которых отличались от состояния «норма» вследствие предварительного воздействия на них различных физических факторов. Результаты облучения семян после предварительного теплового воздействия представлены на рис. 1.

Предварительная тепловая обработка семян растений $t = 56^\circ\text{C}$ привела к угнетению \mathcal{E}_n в среднем до 37 % (в 2,5 раза), при этом снизилась стабильность результатов в исследуемых партиях в 3,4 раза по сравнению с контролем (СКО = 12,4 %). L_{cp} уменьшилась до 6,2 мм (в 4 раза), СКО составило 3,3 мм, что в 2 раза меньше, чем в контроле. Последующее воздействие ЭМП способствовало достоверному увеличению исследуемых показателей от-

носительно состояния угнетения при всех режимах облучения. Так, \mathcal{E}_n в среднем увеличилась в 1,4 раза, L_{cp} - в 1,6 раза. Восстановление показателей при воздействии ЭМП увеличивается с увеличением экспозиции сигнала. Согласно экспериментальным данным отмечается частотная дисперсия и немонотонная зависимость эффективности воздействия от времени облучения. Например, максимальное увеличение \mathcal{E}_n до 61,1 % (в 1,7 раза) относительно теплового угнетения наблюдается при $f = 50,3$ ГГц (3 часа), минимальный эффект $\mathcal{E}_n = 44,8$ % (в 1,2 раза) - при облучении в том же частотном диапазоне, но в течение 1 часа. Противоположная тенденция прослеживается при обработке семян фрактальным шумом. В этом случае облучение 1 час в данном частотном диапазоне оказалось самым эффективным - $\mathcal{E}_n = 52,6$ % (в 1,4 раза), а 3-х часовое воздействие фрактальным сигналом оказалось наименее эффективным - $\mathcal{E}_n = 49,2$ % (в 1,3 раза) (рис. 1).

При оценке L_{cp} наибольшему её увеличению способствует облучение шумовым сигналом в течение 3 часов, когда средняя длина корней составила 12,9 мм, что в 2,1 раза больше длины корней после теплового угнетения. Хороший результат получен при облучении в диапазоне частот 50,3 ГГц 3 часа - $L_{cp} = 12,4$ мм (в 2 раза). Наименьшее увеличение средней длины наблюдается при облучении $f=58,0$ ГГц - шумовым КВЧ-сигналом, где $L_{cp} = 8,1$ и 8,4 мм (в 1,3 и 1,4 раза) соответственно (рис. 1). При этом, после облучения семян со сниженными исходными показателями, в среднем увеличивается

стабільність результатів, т.е. знижується СКО. Найбільший розброс спостерігається при обробці семян

фрактальним шумом, де СКО змінюється від 7,9 % до 11,1 % (Δ_n) і від 2,5 мм до 3,5 мм (L_{cp}).

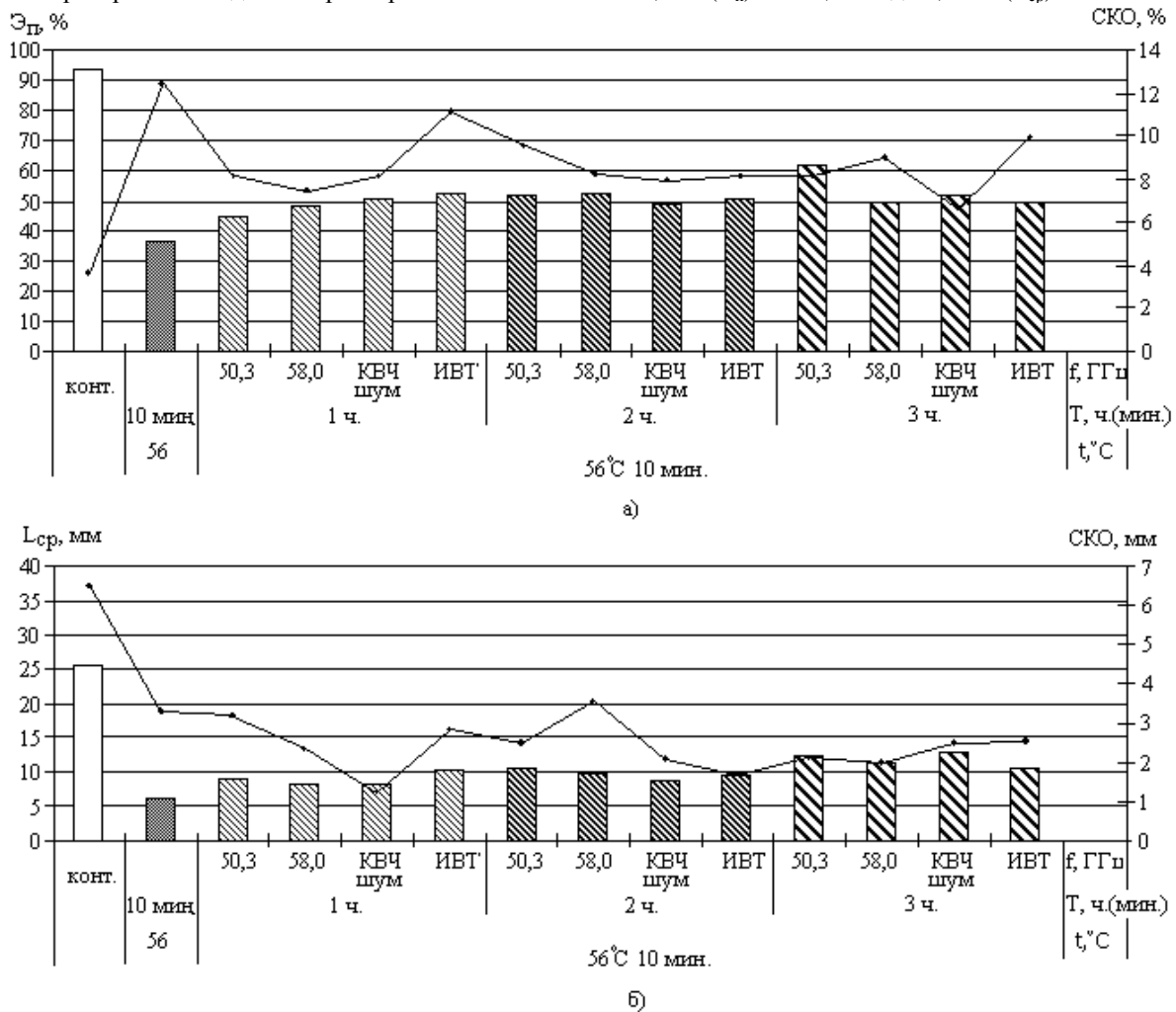


Рисунок 1 – Изменение показателей биологической активности: а) Δ_n и СКО, б) L_{cp} и СКО, при непосредственном облучении ЭМП семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г., предварительно подвергшихся тепловому воздействию

Как было установлено ранее, воздействие ЭМП на БО возможно не только в результате их непосредственной обработки, но и путём взаимодействия необлучённых БО с облучённой водой. Результаты исследований приведены на рис. 2.

Взаимодействие облучённой воды в течение 1 часа с семенами пшеницы, отличными от «нормы», приводит к восстановлению Δ_n в среднем в 1,6 раз, а L_{cp} – в 2,1 раза (рис. 2). Сравнивая эти результаты с данными, при непосредственном воздействии ЭМП на семена, восстановление составило в 1,3 и 1,4 раза соответственно (рис. 1). Взаимодействие семян пшеницы с водой, обработанной ЭМП в течение 2-х часов приводит в среднем к повышению Δ_n в 1,5 раза и L_{cp} – в 2,2 раза. Для сравнения, при непосредственном облучении, это повышение составило 1,4 и 1,6 раза. Дальнейшее увеличение времени воздействия ЭМП на воду до 3-х часов и последующее замачивание в ней семян, способствовало снижению Δ_n в 2 раза и не привело к достоверным изменениям L_{cp} . При всех режимах облучения наблюдается тенден-

ция уменьшения L_{cp} в среднем в 1,3 раза (рис. 2). Непосредственная обработка семян при аналогичном режиме облучения, напротив, в среднем способствовала увеличению Δ_n в 1,4 раза, а L_{cp} – в 1,9 раза.

В зависимости от частоты облучения наблюдаются отличия биологического отклика семян растений, которые особенно выражены при обработке ЭМП в течение 1 часа. Наибольшее увеличение исследуемых показателей отмечается при воздействии на воду фрактальным сигналом. Так Δ_n увеличилась в 1,7 раза, а L_{cp} – в 2,4 раза. Наименьшее изменение – при обработке 50,3 ГГц, Δ_n – в 1,5 раза, а L_{cp} – в 2 раза. С увеличением времени экспозиции фрактальным сигналом до 2-х и 3-х часов, при опосредованном воздействии ЭМП на предварительно угнетённые семена, наблюдается постепенное уменьшение их Δ_n , такая же тенденция прослеживается при непосредственной обработке. Увеличение времени облучения воды в дискретных полосах частот и шумовым КВЧ-сигналом до 2-х часов приводит к сти-

муляции исследуемых показателей биологической активности семян, а увеличение до 3-х часов – к их угнетению. Это существенно отличается от эффектов при непосредственном облучении семян, когда

3-х часовая обработка ЭМП оказывает стимулирующее воздействие в среднем больше, чем при 2-х часовом облучении в аналогичных частотных диапазонах.

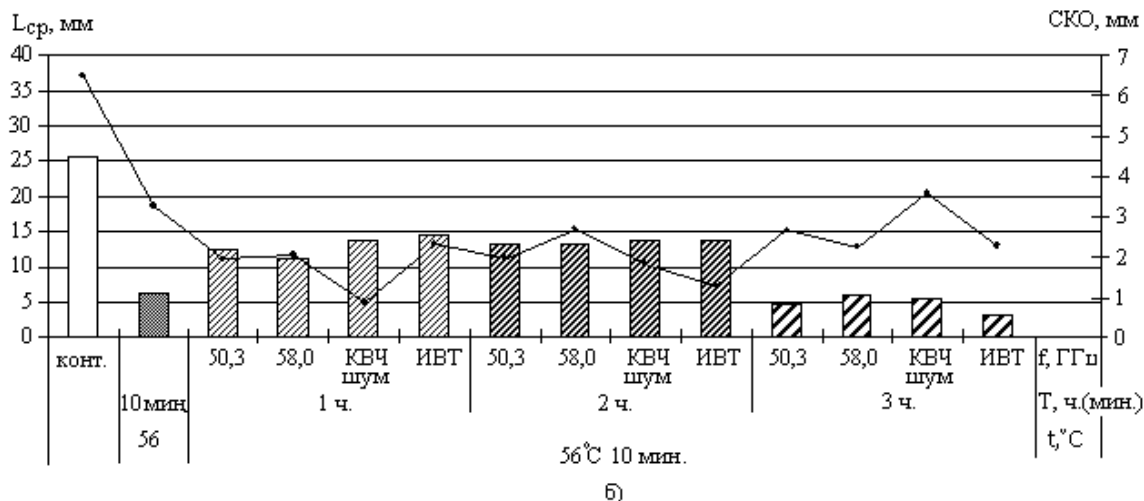
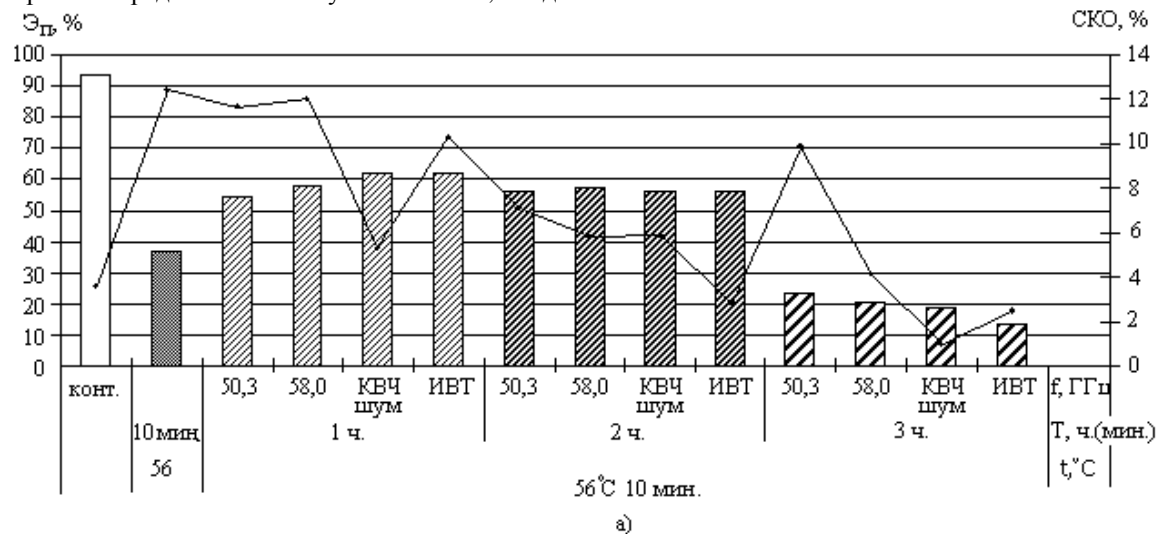


Рисунок 2 – Изменение показателей биологической активности: а) \mathcal{E}_n и SKO, б) L_{cp} и SKO, при опосредованном облучении ЭМП семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г., предварительно подвергшихся тепловому воздействию

Таким образом, опосредованное влияние миллиметрового излучения на семена со сниженными исходными показателями оказывается более эффективным, чем непосредственное облучение в 1 час. С увеличением времени воздействия эффект стимуляции постепенно сменяется на противоположный.

В следующей серии экспериментов изучалось непосредственное и опосредованное влияние ЭМП на устойчивость семян растений к последующему влиянию неблагоприятных факторов. Результаты экспериментов приведены на рис. 3, 4.

В результате анализа полученных данных выяснилось, что после предварительного облучения семян в течение 1 часа последующее воздействие на них теплового фактора вызывает снижение \mathcal{E}_n в 2,2 раза, а L_{cp} – в 3,4 раза, что превысило показатели при тепловом угнетении без предварительной обработки ЭМП в 1,2 и 1,3 раза соответственно. Наиме-

нее подверженными тепловому воздействию оказались семена, предварительно облучённые KVЧ-шумовым сигналом. В этом случае \mathcal{E}_n уменьшилась в 1,8 раз, L_{cp} в 2,5 раз относительно контроля, что выше показателей при тепловом угнетении в 1,4 и 1,7 раза. Предварительная обработка ЭМП в течение 1 часа в других частотных диапазонах оказалась менее эффективной и не повлияла на достоверное увеличение устойчивости семян к внешним неблагоприятным факторам (рис. 3). Тепловое воздействие после предварительного облучения в течение 2-х и 3-х часов привело к снижению \mathcal{E}_n относительно контроля в среднем в 4,8 и 4,7 раза, а L_{cp} в 11,5 и 9,4 раза соответственно. В результате показатели оказались ниже, чем при воздействии только тепловым фактором, \mathcal{E}_n уменьшилась в обоих случаях в 1,9 раза, L_{cp} в 2,8 и 2,3 раза (рис. 3).

Таким образом, в результате облучения семян пшеницы ЭМП представляется возможным влиять на их устойчивость к последующему воздействию неблагоприятных факторов, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Степень такого влияния зависит от времени экспозиции сигнала и

от частоты предварительного воздействия. При этом устойчивость результатов в большинстве случаев возрастает по сравнению с данными при тепловом угнетении.

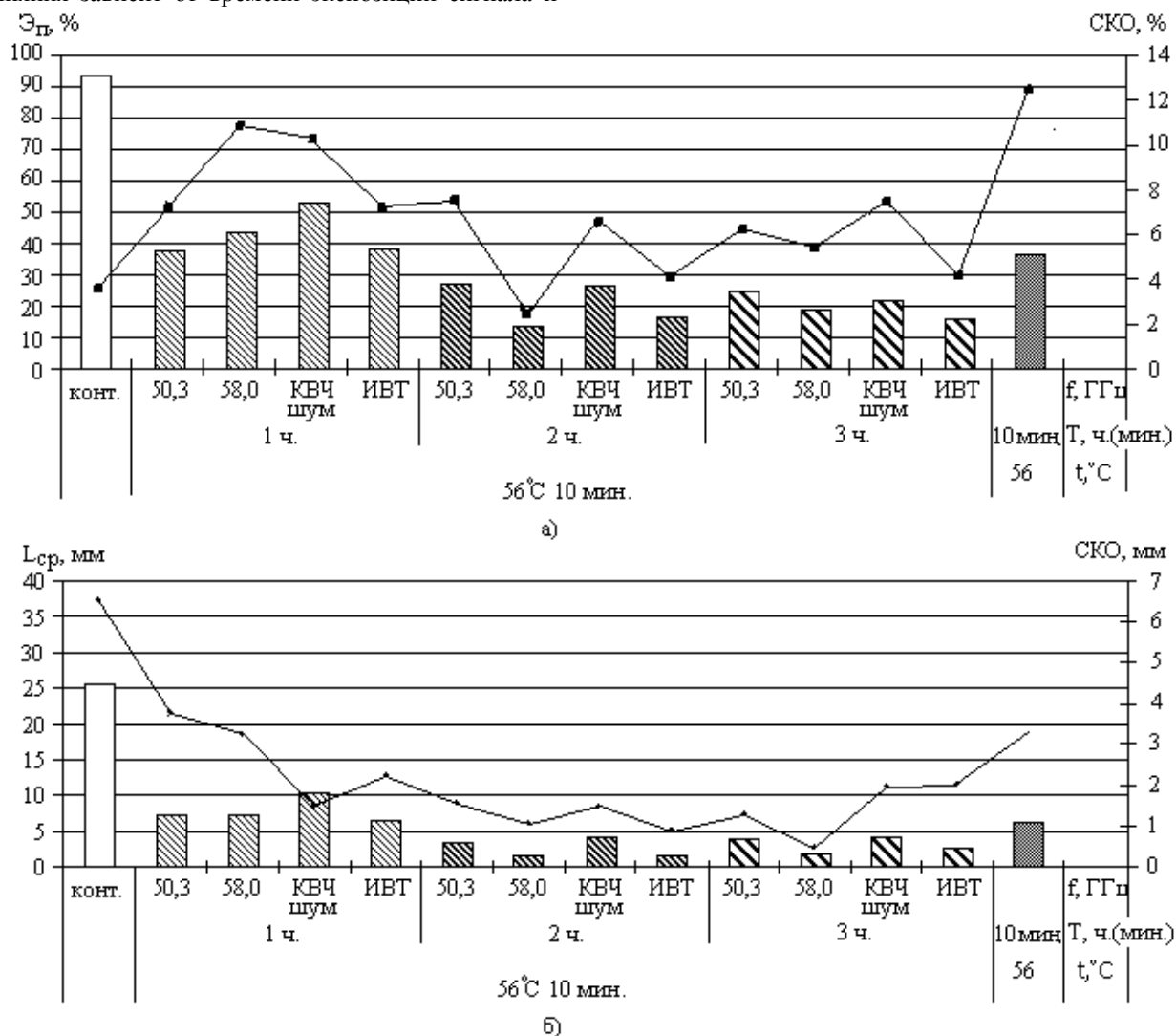


Рисунок 3 – Изменение показателей биологической активности: а) \mathcal{E}_n и СКО, б) L_{cp} и СКО, при непосредственном облучении ЭМП семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г., с последующим тепловым воздействием

При опосредованном облучении семян установлено, что обработка воды в течение 1 часа и последующее взаимодействие с ней семян пшеницы способствует увеличению их теплоустойчивости. Так, при последующем воздействии тепловым фактором \mathcal{E}_n уменьшились в 1,8 раза относительно контроля, что в 1,4 раза больше показателей при тепловой обработке, без предварительного замачивания семян в облученной воде. Средняя длина корней уменьшилась относительно контроля в 3,9 раза, что в среднем имеет незначительное отличие от результатов при тепловом угнетении, в 1,1 раза. Наименьшее угнетение семян наблюдалось при взаимодействии с водой, предварительно облученной фрактальным шумовым сигналом. В этом случае \mathcal{E}_n и L_{cp} имеют достоверные отличия в сторону увеличения от показателей при тепловом угнетении в 1,4 и 1,5 раз. Уве-

личение времени воздействия ЭМП на воду до 2-х и 3-х часов привело к тому, что у семян, взаимодействующих с этой водой, при дальнейшем тепловом угнетении \mathcal{E}_n снизилась относительно контроля в среднем 2,2 раза а L_{cp} в 3,2 и 2,7 раза, что больше показателей при тепловом угнетении для \mathcal{E}_n в 1,2 раза, а для L_{cp} в 1,3 и 1,6 раза соответственно (рис.4).

В результате сравнения изменения теплоустойчивости при аналогичных режимах непосредственного воздействия на семена в среднем по всем измерениям \mathcal{E}_n увеличилась в 0,8 раза, а L_{cp} в 0,7 раза, в то время как предварительное замачивание в облученной воде способствовало увеличению теплоустойчивости в среднем в 1,2 и 1,3 раза соответственно. Непосредственное воздействие на семена ЭМП в течение 1 часа способствовало увеличению относи-

тально теплового угнетения \mathcal{E}_n в 1,2 раза, а L_{cp} в 1,3 раза; опосредованное воздействие привело к увеличению в 1,4 и 1,1 раза соответственно, т.е. в первом случае изменения в большей степени отразились на средней длине корешков, а во втором - на \mathcal{E}_n семян. При непосредственном облучении семян в течение

2-х и 3-х часов \mathcal{E}_n увеличилась в 0,6 раза, а L_{cp} в 0,4 и 0,5 раза, при опосредованном воздействии увеличение теплоустойчивости составило \mathcal{E}_n в 1,2, а L_{cp} в 1,3 и 1,6 раза.

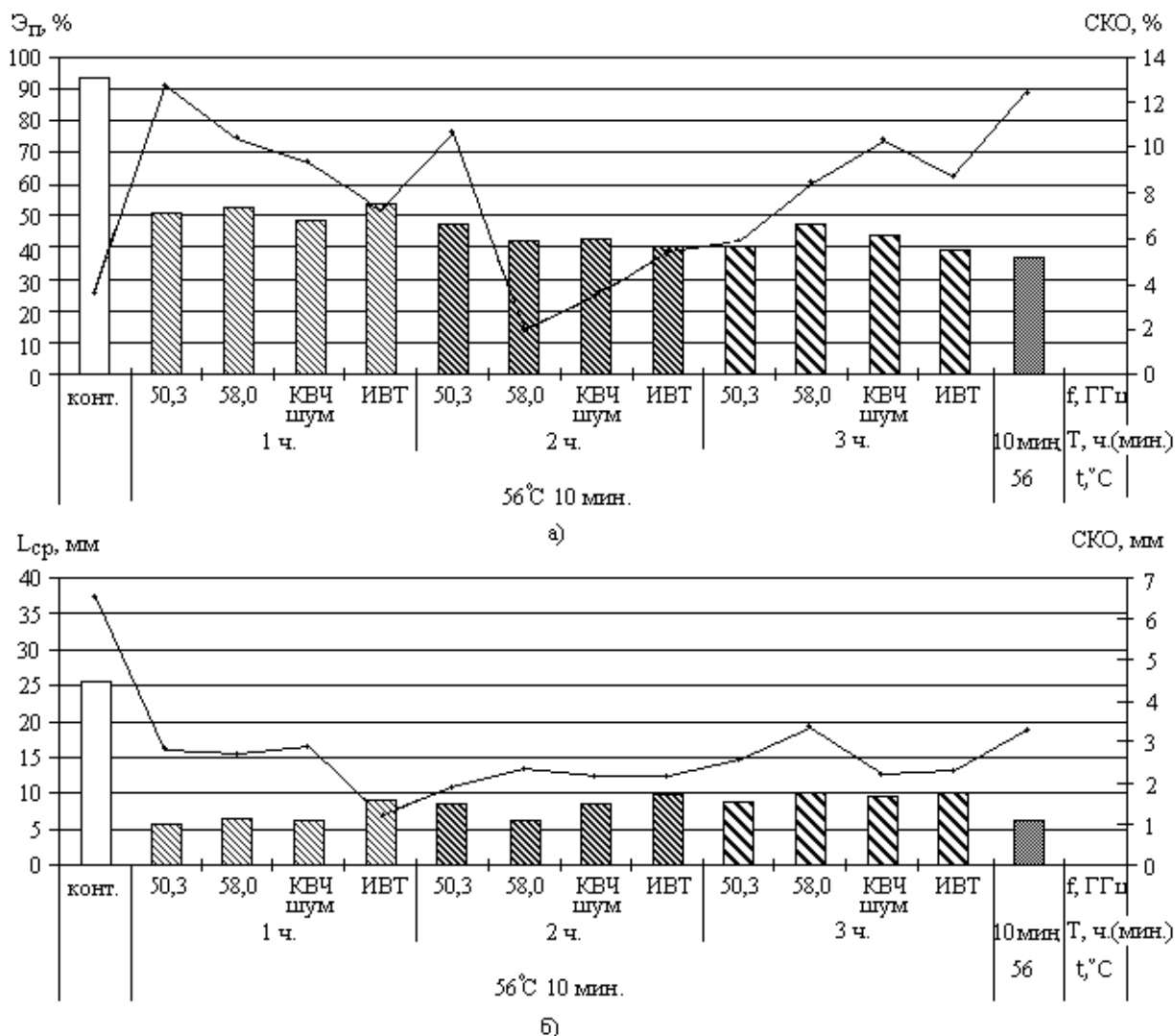


Рисунок 4 – Изменение показателей биологической активности: а) \mathcal{E}_n и СКО, б) L_{cp} и СКО, при опосредованном облучении ЭМП семян пшеницы «Одесская-267» урожая 2001 г., с последующим тепловым воздействием

Приведенные данные свидетельствуют о возможности модификации теплоустойчивости семян путем замачивания водой, обработанной ЭМП. При этом эффективность воздействия зависит от частоты и времени облучения воды. Следует отметить увеличение устойчивости данных, полученных при предварительном электромагнитном воздействии, относительно результатов по тепловому угнетению. Согласно экспериментальным данным опосредованное воздействие ЭМП на семена оказывается более эффективным в повышении теплоустойчивости, чем непосредственное облучение при аналогичных режимах, что обусловлено распределением вакансий воды вблизи точки роста.

Внешние электромагнитные излучения низкой интенсивности оказывают специфическое воздей-

ствие на семена растений, которое проявляется в изменении исследуемых показателей биологической активности (энергии прорастания, длины корней и их СКО).

Эффективность внешнего воздействия ЭМП низкой интенсивности зависит от начального состояния БО, что свидетельствует о наличии порогового характера биологического отклика. Важным является факт, что облучение семян с высокими исходными показателями приводит в большинстве случаев к их угнетению, а воздействие на ослабленные семена способствует частичному восстановлению утраченных свойств.

Наблюдается изменение свойств семян, в частности теплоустойчивость. Согласно экспериментальным данным семена оказываются менее под-

верженними воздействием тепла в результате их предварительной обработки ЭМП.

Следует отметить, что опосредованное воздействие на семена, которое осуществляется в результате взаимодействия необлученных семян с предварительно облученной водой, является более эффективным, чем непосредственное облучение семян, что проявляется в усилении биологического отклика, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Наблюдается зависимость биологического отклика от частоты и времени облучения. Отмечаются отличия реакции БО на воздействие фрактальным шумом от воздействия шумовым КВЧ-сигналом и в дискретных полосах частот КВЧ-диапазона.

Выводы. В отличие от многочисленных публикаций, которые выделяют преимущественно стимулирующий эффект низкоинтенсивного воздействия ЭМП на биологические показатели растений, нами установлено, что эффекты воздействия носят разноплановый характер – от безразличия до стимуляции и угнетения. Указанные эффекты проявляются по-разному в зависимости от исходного состояния БО, вида модуляции сигналов и их структурной организации, к тому же эти зависимости носят немонотонный характер и даже изменяют знак воздействия на противоположный, что по видимому отражает конкурентный характер между эффектами стресса и адаптации.

Приведенные данные свидетельствуют о наличии эффекта, на его количественные характеристики. Возможные удаленные эффекты, в том числе генетические последствия воздействия, нуждаются в тщательном наборе и накоплении экспериментальных данных, полученных в контролируемых условиях. Обобщение результатов и разработка перспективных моделей, по-видимому, требует включения новых переменных, при которых эффекты будут устойчивы и воспроизводимы в интересах целенаправленной модификации свойств растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бецкий О.В., Голант М.Б., Девятков Н.Д. Миллиметровые волны в биологии. - М.: Знание, 1988. - 63 с.
2. Афромеєв В.И., Субботина Т.И., Яшин А.А. Корреляционный подход и роль физиологических ритмов в объяснении эффектов взаимодействия электромагнитных полей с живым организмом // Вестник новых медицинских технологий. - 1997. - Т.4, №3. - С.31-34.
3. 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.
4. Гемба В.Н. Воздействия ЭМП на биологические организмы - общая концепция для различных спектров // Электроника и связь. Тезисы НПК. - Май 1997. - Вып.2. - С.59-63.
5. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. - М.: Радио и связь, 1991. - 167 с.
6. Гапочка Л.Д., Гапочка М.Г., Королёв А.Ф., Рощин А.В., Сухоруков А.П. и др. Механизмы функционирования водных биосенсоров электромагнитного излучения // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - № 3. - С.48-55.
7. 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.
8. Быстров В.С. Динамика систем с водородными связями // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №3. - С.34-40.
9. 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.
10. Звершовский И.В., Лошицкий П.П., Пойгина М.И., Чичинадзе Ж.А. Микроволновые технологии в агробиологии и медицине // Материалы 7-й Международной крымской микроволновой конференции. 15-18 сентября, 1997. - С.102-105.
11. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А. и др. Лазеро-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - № 2. - С.52-57.
12. Готовский Ю.В., Перов Ю.Ф. Особенности биологического действия физических факторов малых и сверхмалых интенсивностей и доз. - М.: 2000. - 191 с.
13. Шеин А.Г. Некоторые аспекты воздействия СВЧ-излучения сантиметрового диапазона на зерно // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2001. - № 4. - С.4-7.
14. Шеин А.Г., Никулин Р.Н. Выбор критериев по степени воздействия электромагнитного излучения на биологические объекты // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2001. - № 4. - С.19-23.
15. Коваленко О.И., Кивва Ф.В., Калиниченко С.В., Сукач Л.А. Некоторые особенности воздействия ЭМП СВЧ и КВЧ диапазонов на семена растений и микроорганизмы // Радиопизика и электроника. Сб. науч. тр. Харьков, 2005. - Т.10, №1. - С. 154-163.
16. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания. ГОСТ 10968-88. - 5 с.
17. Бендат Дж., Пирсол. А. Прикладной анализ случайных данных. - М.: Мир, 1989. - 540 с.
18. Большев П.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1983. - 416 с.

Статья поступила 11.10.2007.
Рекомендовано к печати к.т.н., доц.
Мосьпаном В.А.