

Ця стаття розповсюджується на умовах відкритого доступу за академічною ліцензією

DOI: <https://10.15407/rej2018.03.065>

УДК 528.811 (1-021)

PACS: 87.50.U-

О. И. Коваленко

Институт радиопластики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

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

E-mail: Kovalenko-ire@ukr.net

ОСОБЕННОСТИ ОПОСРЕДОВАННОГО ЧЕРЕЗ ВОДУ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СЕМЕНА ПШЕНИЦЫ

Предмет и цель работы. Рассмотрены особенности целенаправленной модификации функционалов состояния семян пшеницы посредством облучения низкоинтенсивным электромагнитным полем (ЭМП). Цель – исследовать эффективность опосредованного через воду воздействия низкоинтенсивного ЭМП в дискретных полосах крайне высокочастотного диапазона на семена пшеницы в зависимости от их начального состояния, оцениваемого статистически как «норма» и «патология», а также изучить возможности функционального восстановления семян пшеницы в состоянии «патология».

Методы и методология работы. Работа является экспериментальной. В ней использовались апробированные радиопластические, радиотехнические, биологические методы и средства воздействия. В качестве источников облучения взяты генераторы Г4-141 (37,5...53,57 ГГц) и Г4-142 (53,57...78,33 ГГц). Эффективность опосредованного воздействия ЭМП оценивалась по изменению функционалов состояния семян: энергии прорастания, средней длины корней и проростков в каждой выборке. При обработке и анализе результатов использованы статистические методы.

Результаты работы. Установлена возможность целенаправленной модификации функциональных показателей семян пшеницы при их взаимодействии с водой, предварительно облученной ЭМП. Показаны различия в эффективности опосредованного через воду воздействия ЭМП от частоты и экспозиции сигнала. Выявлена зависимость биологического отклика семян пшеницы на опосредованное через воду электромагнитное облучение от их исходного состояния: наличие угнетения в состоянии «норма» и стимуляции в состоянии «патология». Показана перспективность применения опосредованного через воду воздействия ЭМП на семена пшеницы, находящихся в состоянии «патология», для восстановления утраченных функциональных свойств. Определены эффективные режимы опосредованного через воду воздействия ЭМП.

Заключение. Подтверждена водно-диссипативная модель взаимодействия ЭМП с веществом. Предложен опосредованный через облученную воду метод воздействия ЭМП на семена, позволяющий стимулировать их утраченные свойства, что представляется перспективным в развитии сельскохозяйственных технологий. Ил. 6. Табл. 3. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: электромагнитное поле, семена пшеницы, вода, опосредованное воздействие.

Электромагнитное поле (ЭМП) является неотъемлемой частью развития и существования живого. Накопленные экспериментальные и клинические данные подтверждают эффективность электромагнитного воздействия на биологические объекты разных классов, включая человека. Остаются открытыми вопросы о механизмах взаимодействия ЭМП с веществом. Существующие гипотезы не дают исчерпывающего ответа, что связано со сложностью организации живой системы. Однако, особого внимания заслуживает водно-диссипативная модель, в рамках которой рассматриваются изменения свойств воды, вызванные действием ЭМП. Предполагается, что именно вода является первичной мишенью при облучении биологических объектов [1, 2].

Вода количественно доминирует в биосфере, она является составной частью биологических структур, в которых находится в свободном и связанном состояниях [3]. Вода отвечает за биохимические процессы, такие как транспорт веществ, комплексообразование, химические и физические изменения с участием макромолекул. Она выполняет формообразующую функцию, поскольку пространственная структура макромолекул (белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов) определяется характером взаимодействия их отдельных мономерных звеньев с водой [4].

Известно, что вода является основным поглотителем миллиметрового излучения, которое особенно интенсивно в пограничном слое. Частоты вращательных колебаний молекул воды находятся в сверхвысокочастот-

ном (СВЧ) – крайне высокочастотном (КВЧ) диапазонах: характерная частота связанной воды лежит в области $10^8 \dots 10^9$ Гц, для свободной воды она достигает 10^{10} Гц.

Взаимодействие воды с ЭМП определяется ее полярными и диссипативными свойствами. При наличии внешнего ЭМП происходит возбуждение полярных молекул с последующей диссипацией их энергии за счет межмолекулярных взаимодействий [5]. Первичным рецептором ЭМП воды может быть водородная связь между отдельными молекулами, так как она обладает сильной поляризационной способностью. Даже слабое воздействие может вызвать перестройку всей системы. Изменение структуры воды может быть ответственным за активацию биологических процессов. Исходя из кластерной модели строения воды и наличия водородных связей, чувствительность биообъектов к слабым ЭМП объясняется эффектом «памяти воды». Установлено, что в неустойчивом состоянии молекулы воды могут находиться вплоть до нескольких недель [1].

При облучении ЭМП наблюдается конвекция воды в жидкой фазе. Она может быть первичным механизмом действия миллиметровых волн на процессы жизнедеятельности, при этом порог чувствительности биообъектов к непрерывному КВЧ-излучению низкой интенсивности достигает единиц микроватт. Конвекция возникает на границе раздела фаз (воздух–жидкость, жидкость – твердое тело) за счет приповерхностного поглощения излучения и обусловлена изменением сил поверхностного натяжения на этой границе (термокапиллярный эффект). Под действием миллиметровых волн за счет конвективного переноса ускоряется поступление в водный раствор кислорода. Динамика растворенного в воде кислорода, образование перекисей и их реакция на воздействие внешних факторов, а также структуризация воды при наличии примесей представляют особый интерес [6].

Обнаружены спектры резонансной «прозрачности» тонких слоев воды в диапазонах частот, соответствующих вращательным молекулярным спектрам излучения и поглощения растворенных газов. Так, диапазон частот $150,176 \dots 150,644$ ГГц соответствует резонансному поглощению оксида азота [7], а полосы частот $40,0$ и $42,2$ ГГц, $50,3$ и $58,0$ ГГц

связаны с возбуждением атомов озона и водорода соответственно. Наиболее значимые эффекты наблюдаются на частотах, совпадающих с линиями поглощения ЭМП молекулярным кислородом, в миллиметровом диапазоне это $61,0$ и $64,5$ ГГц [8, 9].

Экспериментально установлено возбуждение резонансно-волновых состояний воды, которые проявляются при воздействии на частотах вблизи пар $50,3$ и $51,8$, $64,5$ и $65,5$, $95,0$ и 105 ГГц, связанных с радиальными и поперечными модами молекулярных колебаний гексагональных фрагментов воды [10]. Некоторые аномальные линии поглощения воды и водяного пара в миллиметровом диапазоне, не принадлежащие вращательному спектру самой молекулы воды, объясняются наличием кластеров. Собственные частоты 57- и 60-го молекулярных кластеров находятся в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Резонансные частоты у водных кластеров обнаружены в диапазоне $50 \dots 70$ ГГц. Облучение в резонансной полосе приводит к захвату молекулярными водными кластерами частоты внешнего сигнала и усилению его по типу синхронизированной генерации. Волны на этих частотах распространяются в водных средах с малыми потерями и могут проникать на большую глубину облучаемого объекта, вовлекая глубинные структуры в процесс взаимодействия со слабым внешним сигналом [11].

Установлено, что резонансные спектры воды и биотканей в состоянии «норма» соизмеримы по частотам, однако отличаются по добротности резонансных пиков. В тканях основные резонансные максимумы значительно уже, чем у воды, что отражает более высокий уровень структурной организации системы. В состоянии «патология» резонансные спектры отклоняются по частоте и добротности [9]. Идентичность резонансных частот биотканей и воды имеет принципиальное значение и указывает на общую физическую природу резонансного состояния в биологических и водных средах.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об изменении свойств воды под действием ЭМП даже низкой интенсивности, которые проявляются как непосредственно в изменении структуры воды, так и косвенно, путем влияния облученной

воды на биологические объекты [12]. Эффективность опосредованного через воду воздействия ЭМП на семена растений определяется особенностями протекания фазы прорастания.

Прорастание представляет собой сложный физико-биологический процесс, происходящий в семенах под воздействием внешних условий в период перехода из состояния покоя к активной фазе, которая заканчивается образованием проростка и корешков. Необходимым условием для прорастания является наличие влаги, кислорода и оптимальной температуры [13, 14].

Влага является одним из определяющих факторов. В созревшем семени для поддержания жизни зародыша должно содержаться не менее 15 % воды, ее уменьшение до 10...12 % приводит к гибели зародыша, а увеличение более чем на 15 % – к набуханию семени. Содержание воды, необходимое для прорастания, колеблется в зависимости от вида растений: для проса – 33 %, ржи – 35 %, конопли – 47 %, кукурузы – 50 %, пшеницы – 69 %, вики – 75 %, гороха – 98 %, льна – 100 %, сахарной свеклы – 120 %, красного клевера – 145 %. Количество необходимой влаги определяется преимущественно размером и химическим составом семени. В зависимости от сорта растений, например, пшеницы, зерна которой различаются по белковости, поглощение воды варьируется. Твердая пшеница требует больше воды, чем мягкая. Избыток влаги может быть вреден в связи с нехваткой кислорода, необходимого для дыхания. Первые порции воды поступают в сухое семя под высоким давлением, что эволюционно обеспечивает его выживаемость. Проникновение воды в семя происходит главным образом через рубчик и пыльцевход. Около них зачастую расположен корешок. При прорастании пшеницы первым появляется корень, вслед за ним показываются еще два, которые быстро догоняют первый в росте. Позднее появляются придаточные корни. Далее из зародыша показывается росток, который растет вверх [15].

При прорастании семян проходят многочисленные взаимосвязанные процессы: распад питательных веществ, их превращение, транспорт, образование из них новых ве-

ществ, необходимых для построения клеток и органов [14].

Таким образом, первый этап прорастания семян (водопоглощение) может определять дальнейшее протекание процессов, ответственных за всхожесть зерна, скорость роста корней и проростков. Ключевое значение в этом процессе имеет то, какими свойствами обладают первые порции поглощенной влаги. Поэтому актуальными являются исследования воздействия ЭМП на воду, с дальнейшим замачиванием в ней сухих семян для повышения их всхожести и скорости роста, устойчивости к неблагоприятным факторам, с перспективой внедрения электромагнитных технологий в сельское хозяйство.

Целью работы является исследование эффективности опосредованного через воду воздействия низкоинтенсивных ЭМП в дискретных полосах КВЧ-диапазона на семена пшеницы в зависимости от их начального состояния, оцениваемого статистически как «норма» и «патология», а также изучение возможности функционального восстановления семян пшеницы в состоянии «патология».

1. Аппаратура и методика измерений.

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 сигналы мощностью $P \leq 5$ мВт. Волноводные выходы генераторов нагружались рупорными антеннами с апертурами 6,0×5,0 см и 8,5×6,5 см. Облучение проводилось в раскрыве рупора на расстоянии 5...7 см, т. е. в ближней зоне антенны. Плотность потока мощности (ППМ) составляла 0,1 мВт/см² при неравномерности облучения не более 3 дБ [16].

Объектами для исследования выбраны семена пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., имеющие различные исходные показатели [14].

Облучение семян пшеницы проводилось опосредованно через воду, т. е. путем замачивания сухих необлученных семян в предварительно облученной воде. Воздействие ЭМП на воду осуществлялось в дискретных полосах КВЧ-диапазона 42,2, 58,0 и 61,0 ГГц при экспозиции сигнала $T = 5, 10, 30$ и 60 мин. Семена находились в облученной воде в течение 4 ч при температуре $t = 23 \pm 1$ °C, затем

вода сливалась и семена раскладывались в чашках Петри по 50 штук для дальнейшей аэрации в специально изготовленном термостате. Проращивание семян проводилось 72 ч в соответствии с ГОСТом 10968-88 [17, 18].

Тепловая обработка семян проходила в водяном термостате типа *U-10 (Ultra – thermostat)*, позволяющем обеспечить постоянство заданной температуры с точностью $\pm 0,5$ °С. Нагрев сухих семян осуществлялся при 60, 70, 75, 80, 85 и 90 °С, в течение 60 мин.

Эффективность опосредованного через воду воздействия ЭМП оценивалась по изменению функционалов состояния семян: 1) энергии прорастания (\mathcal{E}_n , %) – отношение количества семян из партии, в которых определяются ростки за 72 ч наблюдений, к общему количеству семян; 2) средней длины корней ($L_{к\text{ ср}}$, мм); 3) средней длины пророст-

ков ($L_{п\text{ ср}}$, мм) в каждой партии и их средне-квадратического отклонения (СКО).

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием программы *BioStat 2008*.

2. Обсуждение результатов воздействия. В качестве контрольной рассматривалась партия семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., имеющих высокие функциональные показатели. Семена не подвергались предварительным физическим воздействиям, способным повлиять на процесс прорастания, поэтому их состояние условно оценивалось как «норма».

Результаты изменения функционалов состояния семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «норма» после замачивания их в воде, предварительно облученной ЭМП, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Опосредованное через облученную воду влияние низкоинтенсивных ЭМП на функциональные показатели семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «норма» (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$)

Режим воздействия ЭМП		Показатели биологической активности					
		\mathcal{E}_n , %		$L_{к\text{ ср}}$, мм		$L_{п\text{ ср}}$, мм	
f , ГГц	T , мин	\mathcal{E}_n	СКО	$L_{к\text{ ср}}$	СКО	$L_{п\text{ ср}}$	СКО
Контроль		95,0	3,1	38,0	5,9	21,6	3,8
61,0	5	95,3	2,4	41,4	2,8	22,1	1,6
	10	94,0	2,5	39,9	5,7	21,5	1,9
	30	94,3	3,2	35,8	3,3	17,5*	1,5
	60	94,7	1,0	32,4*	2,7	14,2**	1,1
58,0	5	94,0	3,4	35,8	6,0	17,0*	1,5
	10	98,0*	2,5	41,0	3,3	19,4	1,1
	30	96,0	3,3	33,6	3,4	17,9*	1,7
	60	91,7*	3,2	36,6	2,0	17,4*	1,4
Контроль		90,0	4,7	19,9	5,3	15,6	2,7
42,2	5	88,3	1,5	9,5**	1,5	4,4**	0,9
	10	95,0*	2,8	25,7*	2,9	16,7	1,0
	30	81,0**	2,1	7,5**	2,7	4,0**	1,2
	60	78,0**	4,6	7,0**	2,6	4,4**	1,6

Согласно полученным данным, при опосредованном через воду облучении семян в состоянии «норма» в полосе частот 61,0 ГГц изменения \mathcal{E}_n находились в пределах доверительных интервалов. Наблюдалась тенденция к снижению \mathcal{E}_n при $T = 10, 30$ и 60 мин облучения. Достоверные изменения относительно контрольной партии отмечены при оценке:

средней длины корней после 60 мин облучения – в 1,2 раза ($p < 0,05$) и средней длины проростков после 30 и 60 мин воздействия – в 1,2 ($p < 0,05$) и 1,5 раза ($p < 0,001$) соответственно (рис. 1). При облучении в диапазоне частот 58,0 ГГц в течение 10 мин наблюдалась достоверная стимуляция \mathcal{E}_n на 3 % ($p < 0,05$), а в течение 60 мин – угнетение \mathcal{E}_n на 3,3 %

($p < 0,05$). Оценка $L_{к\text{ ср}}$ выявила тенденцию к угнетению роста корней при $T = 5, 30$ и 60 мин и к стимуляции – при 10-минутном воздействии. При рассмотрении $L_{п\text{ ср}}$ наблюдалось угнетение при всех режимах экспозиции сигнала; достоверные данные получены, когда время воздействия составило 5 мин – в 1,3 раза, 30 и 60 мин – в 1,2 раза ($p < 0,05$) (рис. 1).

Облучение воды в диапазоне 42,2 ГГц в течение 10 мин, с последующим замачиванием в ней сухих семян, привело к достоверной стимуляции $\mathcal{E}_п$ и $L_{к\text{ ср}}$ в 1,1 и 1,3 раза ($p < 0,05$); $L_{п\text{ ср}}$ – тенденция к стимуляции. Остальные режимы оказали угнетающее действие на все исследуемые показатели. Так, при $T = 5, 30$ и 60 мин $\mathcal{E}_п$ снизилась на 2 % (тенденция), 9 и 12 % ($p < 0,001$); $L_{к\text{ ср}}$ – на 10, 12 и 13 мм ($p < 0,001$); $L_{п\text{ ср}}$ – на 11, 12 и 11 мм ($p < 0,001$) соответственно, относительно контроля (рис. 2).

Таким образом установлено, что опосредованное через облученную воду воздействие низкоинтенсивным ЭМП на семена пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «норма» способно модифицировать их функционалы состояния. В большинстве случаев наблюдается тенденция к угнетению. Наибольшие отклонения отмечаются при оценке средней длины корешков и проростков.

Наблюдается зависимость эффективности электромагнитного воздействия от частоты облучения.

Установлена нелинейная зависимость от экспозиции сигнала, которая индивидуальна для каждого диапазона.

Выявлено наличие биологического отклика при относительно малой продолжительности обработки воды ЭМП – 5, 10 мин, а также наличие разноплановых эффектов, происходящих в течение 5 мин.

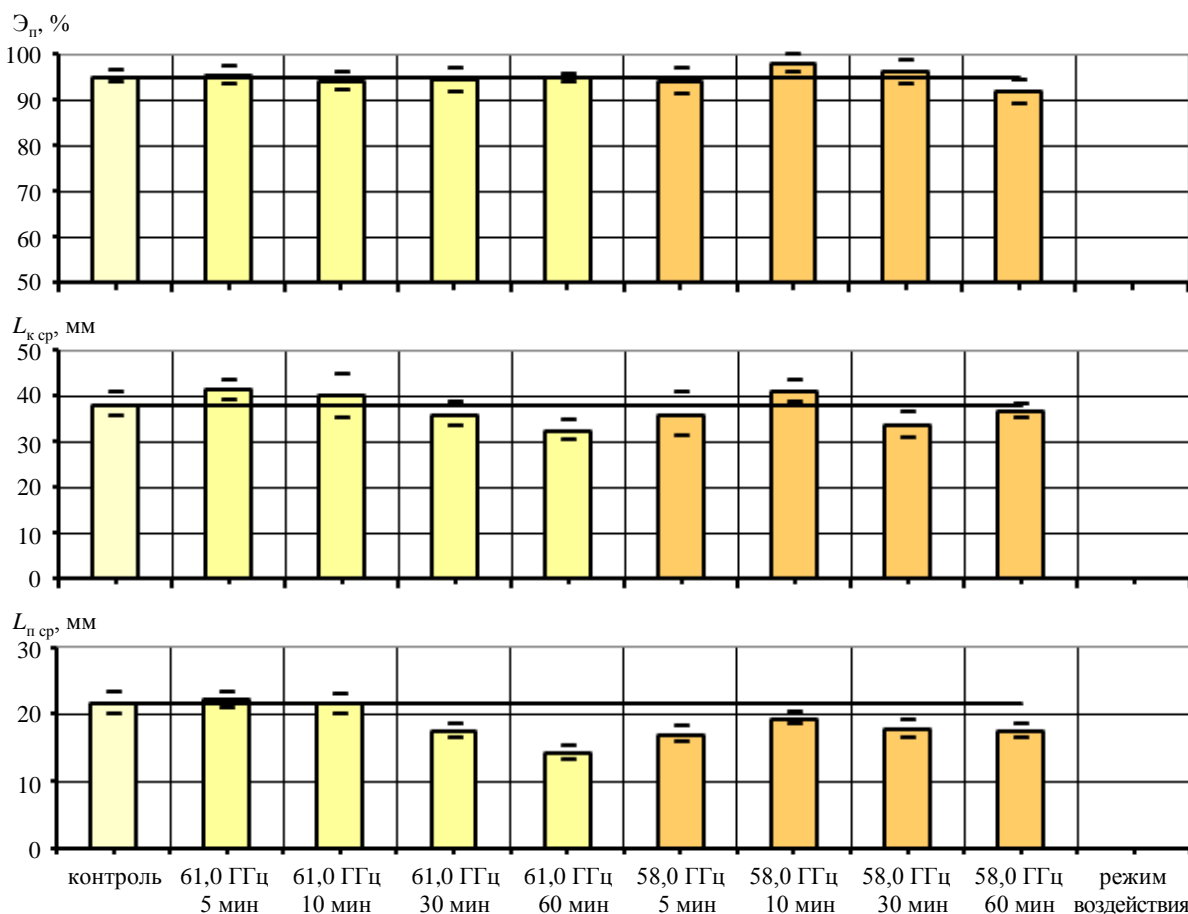


Рис. 1. Изменение функциональных показателей семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «норма» при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазонах 61,0 и 58,0 ГГц

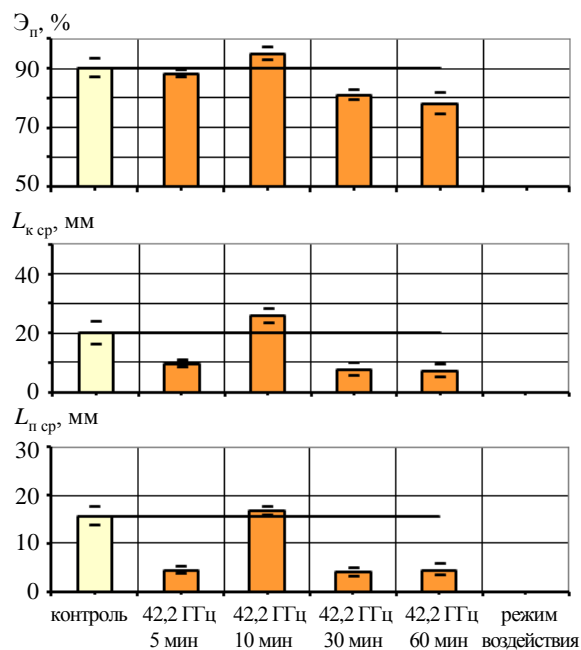


Рис. 2. Изменение функциональных показателей семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «норма» при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазоне 42,2 ГГц

Для установления возможности посредством ЭМП восстанавливать утраченные показатели функционалов состояния семян растений были проведены исследования их целенаправленного угнетения при контролируемых параметрах, в данном случае – температуры и времени воздействия. Исходное со-

стояние семян в этом случае условно оценивалось как «патология» (табл. 2).

Нагрев при температуре 60 °С не способствовал угнетению, изменения функциональных показателей при проращивании семян пшеницы находились в пределах статистической погрешности, отмечались тенденции к стимуляции средней длины корней и проростков. При нагреве от 75 °С и выше наблюдалось устойчивое угнетение ($p < 0,001$) семян по всем показателям. Так, при 75 °С $\mathcal{E}_п$ снизилась в 1,3 и 1,1 раза, $L_{к ср}$ – в 2,2 и 1,5 раза, а $L_{п ср}$ – в 2,4 и 1,3 раза, в зависимости от того, в какой период времени проводился эксперимент. При температуре 80 и 85 °С угнетение составило: $\mathcal{E}_п$ – в 5,6 и 11,9 раз соответственно, $L_{к ср}$ – в среднем в 38 раз, а $L_{п ср}$ – в 14,4 и 19,6 раза. Максимальный прогрев ($t = 90$ °С) привел к снижению показателей биологической активности семян практически до нуля: $\mathcal{E}_п$ – до 3 % (в 32 раза), $L_{к ср}$, $L_{п ср}$ – до 1 мм.

Для контролируемого угнетения функционалов состояния сухих семян пшеницы в качестве оптимального режима выбрано тепловое воздействие в термостате U-10 при $t = 75$ °С, $T = 60$ мин. Результаты опосредованного воздействия ЭМП на семена пшеницы в состоянии «патология» представлены в табл. 3.

Таблица 2

Влияние тепла на функциональные показатели семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$)

Режим теплового воздействия		Показатели биологической активности					
		$\mathcal{E}_п$, %		$L_{к ср}$, мм		$L_{п ср}$, мм	
t , °С	T , мин	$\mathcal{E}_п$	СКО	$L_{к ср}$	СКО	$L_{п ср}$	СКО
Контроль		95,0	3,1	38,0	5,9	21,6	3,8
60	60	92,7	3,7	39,9	6,3	23,1	4,2
70	60	89,3*	3,1	35,1	3,2	18,5	1,5
75	60	75,1**	7,1	17,7**	4,2	9,0**	1,9
		83,6**	2,1	12,6**	3,1	11,0**	2,5
80	60	17,3**	4,2	1,0**	0,0	1,5**	0,2
85	60	8,0**	3,5	1,0**	0,0	1,1**	0,2
90	60	3,0**	3,3	0,7**	0,5	1,0**	0,0

Таблица 3

Опосредованное через облученную воду влияние низкоинтенсивных ЭМП на функциональные показатели семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г. в состоянии «патология» (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$)

Режим воздействия				Показатели биологической активности					
температурного угнетения		ЭМП		Э _п , %		L _{к ср} , мм		L _{п ср} , мм	
t, °C	T, мин	f, ГГц	T, мин	Э _п	СКО	L _{к ср}	СКО	L _{п ср}	СКО
Контроль				95,0	3,1	38,0	5,9	21,6	3,8
90	60	контроль		3,0**	3,3	0,7**	0,5	1,0**	0,0
		61,0	5	4,0	1,8	1,0	0,0	1,0	0,0
			10	7,3*	2,7	1,0	0,0	1,0	0,0
60	60	контроль		92,7	3,7	39,9	6,3	23,1	4,2
		61,0	5	94,7	1,6	41,1	3,3	20,3	1,8
			10	94,0	2,2	43,9	2,3	22,8	1,3
			30	93,7	2,3	36,5	3,3	21,6	1,7
			60	93,0	3,0	33,3*	2,7	20,9	1,4
		58,0	5	92,7	1,0	39,2	3,9	21,1	2,2
			10	95,0	1,7	39,1	3,7	23,3	0,5
			30	90,0	1,6	33,5*	5,1	19,0*	1,6
			60	94,3	2,9	37,9	2,9	22,9	2,1
		75	60	контроль		75,1**	7,1	17,7**	4,2
61,0	5			89,7**	4,3	19,2	2,3	9,7	0,7
	10			93,3*	2,3	24,5*	1,2	12,2*	0,1
	30			74,3	5,1	14,9	2,7	7,5	0,9
	60			65,7*	2,3	10,6*	1,0	5,5**	0,6
Контроль				90,0	4,7	19,9	5,3	15,6	2,7
75	60	контроль		66,7**	66,7	6,6**	1,6	3,3**	0,4
		58,0	5	81,3**	5,9	8,2	2,4	3,9	1,0
			10	75,5*	7,7	6,6	1,2	4,0*	0,7
			30	68,4	5,2	7,3	2,7	4,5*	1,0
			60	69,3	5,3	8,4*	1,0	4,9**	0,5
Контроль				91,4	2,3	18,4	3,9	14,0	2,5
75	60	контроль		83,6**	2,1	12,6**	3,1	11,0**	2,5
		42,2	5	88,7**	1,2	14,4	2,4	10,9	1,5
			10	90,0**	2,0	19,0*	2,3	14,2*	1,4
			30	88,7*	4,2	19,3*	3,8	13,1	0,9
			60	88,0*	2,0	22,0**	3,8	14,4*	2,4

После нагрева семян при $t = 60$ °C опосредованное воздействие ЭМП в полосе частот 61,0 ГГц не повлияло на Э_п при всех режимах экспозиции сигнала. Достоверное угнетение наблюдалось при оценке средней длины корней – в 1,2 раза ($p < 0,05$), когда время облучения составило 60 мин, что соответствует изменениям при опосредованном облучении в состоянии «норма» (табл. 1). Оценка сред-

ней длины проростков не выявила значимых изменений, наблюдалась общая тенденция к их угнетению (рис. 3).

При опосредованном облучении семян в диапазоне частот 58,0 ГГц после их обработки $t = 60$ °C изменений Э_п также не наблюдалось. Средняя длина корней и проростков имела тенденцию к угнетению, достоверные изменения отмечались при облу-

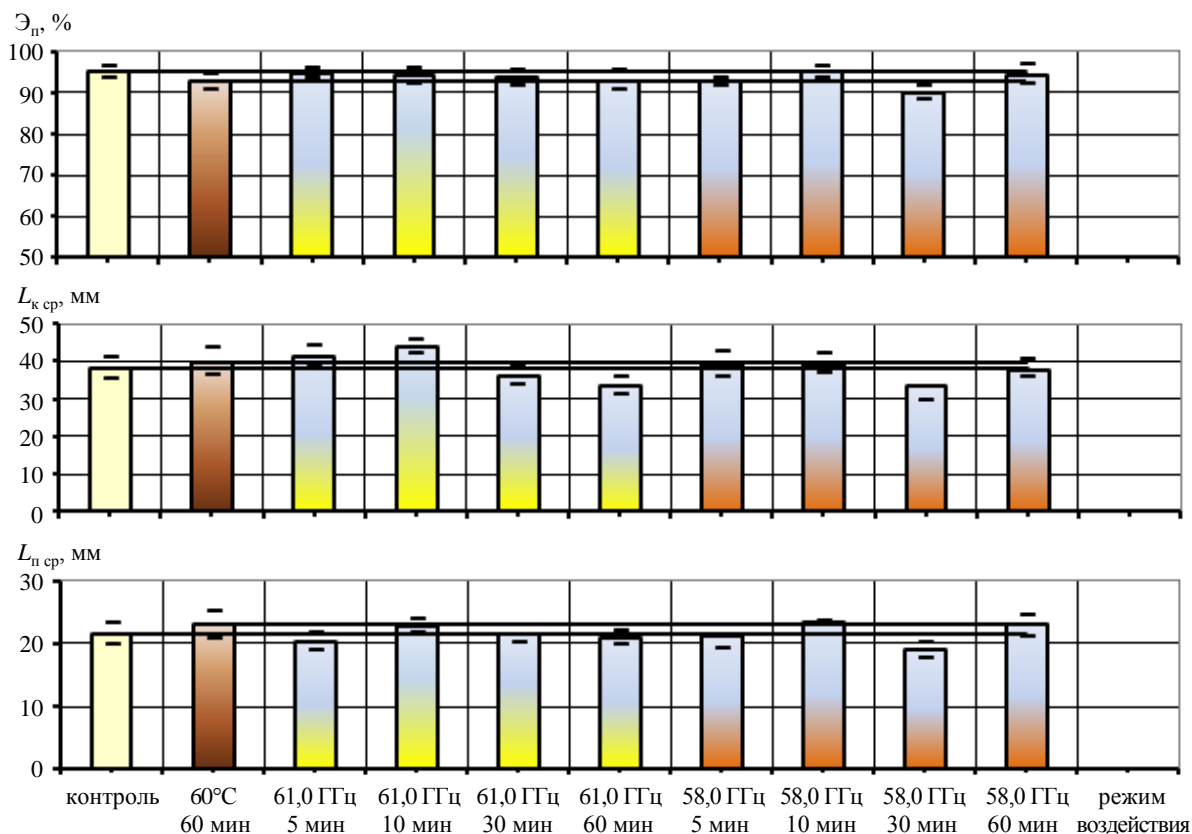


Рис. 3. Изменение функционалов состояния семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., предварительно подвергшихся тепловому воздействию ($t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазонах 61,0 и 58,0 ГГц

чении в течение 30 мин в среднем в 1,2 раза ($p < 0,05$) (рис. 3), что соответствует тенденциям при опосредованном облучении в состоянии «норма» (табл. 1).

При опосредованном облучении семян в диапазоне частот 61,0 ГГц после их обработки $t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда исходные показатели были снижены в 1,5...2 раза, наблюдалась достоверная стимуляция всех исследуемых показателей семян пшеницы при 10 мин экспозиции сигнала: $\text{Э}_п$ – в 1,2 раза ($p < 0,05$), средней длины корней и проростков – в 1,4 раза ($p < 0,05$) относительно теплового угнетения (рис. 4). Облучение в течение 5 мин привело к достоверной стимуляции только $\text{Э}_п$ – в 1,2 раза ($p < 0,001$), $L_{к\text{ ср}}$ и $L_{п\text{ ср}}$ – прослеживалась тенденция к стимуляции. Увеличение времени воздействия до 30 мин способствовало тенденции к угнетению, и при часовом облучении наблюдалось достоверное угнетение $\text{Э}_п$ в 1,1 раза ($p < 0,05$), $L_{к\text{ ср}}$ и $L_{п\text{ ср}}$ – в среднем в 1,7 раза ($p < 0,05$, $p < 0,001$).

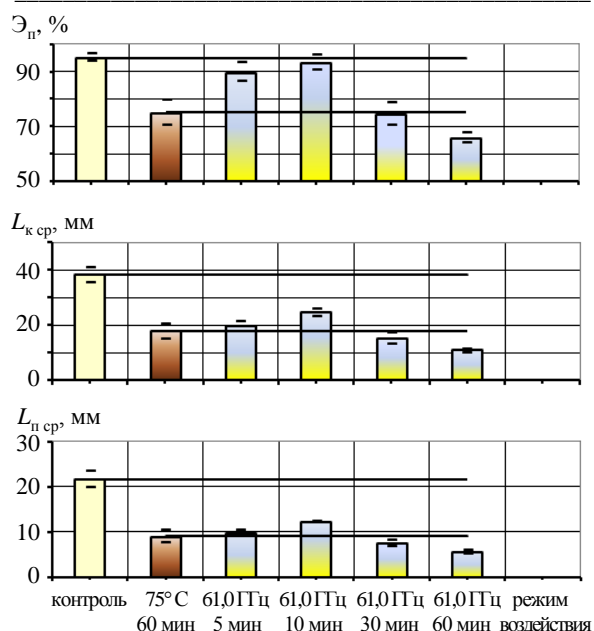


Рис. 4. Изменение функционалов состояния семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., предварительно подвергшихся тепловому воздействию ($t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$) при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазоне 61,0 ГГц

Опосредованное облучение семян в полосе частот 58,0 ГГц после тепловой обработки ($t = 75\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 1\text{ ч}$) привело к стимуляции функциональных показателей. Значимые изменения \mathcal{E}_n наблюдались при кратковременном воздействии 5 и 10 мин – в 1,2 ($p < 0,001$) и 1,1 раза ($p < 0,05$) соответственно; средняя длина корней достоверно увеличилась относительно «теплого» контроля при облучении в течение 1 ч – в 1,3 раза ($p < 0,05$), а достоверное увеличение средней длины проростков зафиксировано при 10, 30 и 60 мин воздействия ЭМП – в 1,3, 1,4 ($p < 0,05$) и 1,5 раза ($p < 0,001$) соответственно (рис. 5).

При опосредованном воздействии ЭМП на семена в состоянии «патология» ($t = 75\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 60\text{ мин}$) путем замачивания их в воде, облученной в диапазоне частот 42,2 ГГц, наблюдалась стимуляция исследуемых показателей. Отмечены два максимума эффективности воздействия при 10 и 60 мин экспозиции сигнала. Наблюдаются достоверные изменения \mathcal{E}_n в 1,1 ($p < 0,001$), $L_{к\text{ ср}}$ – в 1,5 ($p < 0,05$) и 1,8 раза ($p < 0,001$) соответственно, $L_{п\text{ ср}}$ – в 1,3 раза ($p < 0,05$) (табл. 3). Следует отметить, что в результате электромагнитной стимуляции функциональные показатели семян пшеницы были соизмеримы с контрольными и, в отдельных случаях, превышали их (рис. 6).

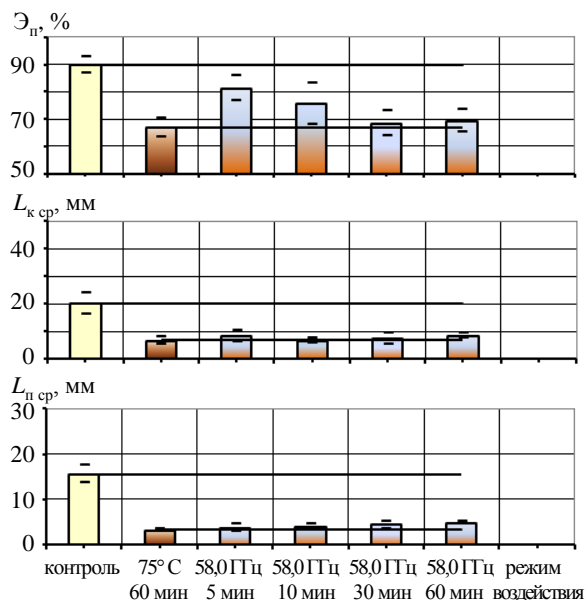


Рис. 5. Изменение функционалов состояния семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., предварительно подвергшихся тепловой обработке ($t = 75\text{ }^\circ\text{C}$) при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазоне 58,0 ГГц

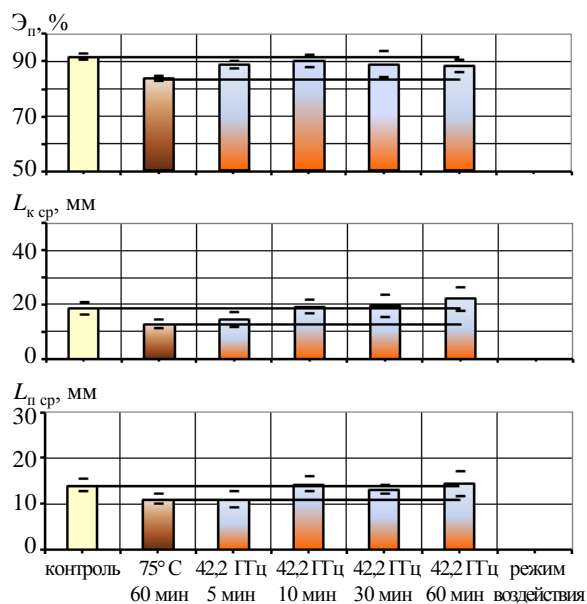


Рис. 6. Изменение функционалов состояния семян пшеницы мягких сортов урожая 2015 г., предварительно подвергшихся тепловой обработке ($t = 75\text{ }^\circ\text{C}$) при опосредованном через воду облучении ЭМП в диапазоне 42,2 ГГц

При предварительном воздействии на семена теплом при $t = 90\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 60\text{ мин}$, когда их показатели были снижены до минимальных значений, дальнейшее опосредованное через воду воздействие ЭМП в полосе частот 61,0 ГГц было малоэффективным относительно стимуляции средней длины корней и проростков. Достоверное увеличение наблюдается только при оценке \mathcal{E}_n – в 2,4 раза ($p < 0,05$) при 10-минутном облучении (табл. 3).

Таким образом, опосредованное воздействие ЭМП на семена, находящиеся в состоянии «патология», вызванном предварительной тепловой обработкой, при $t = 75\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 60\text{ мин}$, способствовало в большинстве случаев стимуляции их функциональных показателей, что отличается от результатов при опосредованном облучении семян в состоянии «норма», в результате которого в основном имеет место эффект угнетения.

В случае, когда предварительная тепловая обработка способствовала увеличению исследуемых показателей, а именно при $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 60\text{ мин}$, дальнейшее замачивание семян в облученной воде малоэффективно и показатели имеют тенденцию к угнетению, что соответствует результатам при опосредованном воздействии ЭМП на семена в состоянии «норма».

В случае, когда «патология» после тепловой обработки $t = 90$ °С, $T = 60$ мин, достигает критических значений, дальнейшее восстановление утраченных свойств слабо выражено.

Наблюдается дисперсионный характер зависимости эффективности воздействия от частоты и экспозиции сигналов. Наибольшие отличия показателей относительно контроля отмечены при опосредованном через воду облучении ЭМП семян в состоянии «патология» в диапазоне 61,0 ГГц: при 10-минутном облучении наблюдалась достоверная стимуляция, а при часовом – достоверное угнетение функционалов состояния семян пшеницы. При опосредованном облучении семян в состоянии «патология» в диапазонах частот 58,0 и 42,2 ГГц, в среднем, наблюдается восстановление сниженных функциональных показателей. Временные зависимости индивидуальны для каждого отдельно рассматриваемого диапазона частот.

Выводы. Установлена возможность целенаправленной модификации функциональных показателей семян пшеницы при опосредованном через воду воздействии ЭМП, что подтверждает актуальность водно-диссипативной модели взаимодействия ЭМП с веществом.

Обнаружена зависимость биологического отклика семян пшеницы от рабочей частоты при опосредованном через воду облучении ЭМП в дискретных полосах частот КВЧ-диапазона 61,0, 58,0 и 42,2 ГГц.

Показана немонотонная зависимость биологического отклика от времени воздействия сигнала, которая индивидуальна для каждого частотного диапазона.

Обнаружены отличия эффективности воздействия ЭМП в зависимости от начального состояния биологических объектов – «норма» или «патология» (правило «исходного уровня» [16]).

Показана эффективность применения опосредованного через воду воздействия ЭМП на семена пшеницы, находящиеся в состоянии «патология», для восстановления их функциональных показателей. Определены эффективные режимы опосредованного через воду воздействия ЭМП. Установлено, что величина восстановления зависит от степени повреждения семян и имеет пороговый характер – после некоторого уровня угнете-

ния эффект восстановления уменьшается либо исчезает.

Библиографический список

1. Шейн А. Г., Кривонос Н. В. Обоснование некоторых эффектов воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на живой организм с помощью триггерной модели. *Биомедицинские технологии и радио-электроника*. 2003. № 4. С. 12–22.
2. Шейн А. Г., Никулин Р. Н. Подходы к моделированию воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты низкой интенсивности на ионный транспорт веществ через биологические мембраны. *Там же*. С. 4–11.
3. Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А., Девятков Н. Д., Бецкий О. В. Вода, парадоксы и величие малых величин. *Биомедицинская радио-электроника*. 2000. № 2. С. 4–9.
4. Бецкий О. В., Яременко Ю. Г. Кожа и электромагнитные волны. *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. 1998. № 1(11). С. 3–14.
5. Щеголева Т. Ю. *Исследование биологических объектов в миллиметровом диапазоне радиоволн*. Киев: Наукова думка, 1996. 182 с.
6. Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н. Некоторые новые представления о причинах формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2000. № 1. С. 23–31.
7. Киричук В. Ф., Майбородин А. В., Волин М. В. Воздействие электромагнитных колебаний КВЧ-диапазона на частотах молекулярного спектра поглощения и излучения оксида азота на тромбоциты, как эффекторные клетки системы гомеостаза. *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. 2001. № 1–2. С. 3–10.
8. Звершковский И. В., Лошицкий П. П., Пойгина М. И., Чичинадзе Ж. А. Микроволновые технологии в агробиологии и медицине. *7-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'97)* (15–18 сент. 1997, Севастополь): тез. докл. Севастополь, 1997. С. 102–105.
9. Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А., Бриль Г. Е., Разумник Д. А. Лазеро-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2000. № 2. С. 52–57.
10. Петросян В. И., Сеницын Н. И., Елкин В. А., Башкатов О. В. Взаимодействие водосодержащих сред с магнитными полями. *Биомедицинская радио-электроника*. 2000. № 2. С. 10–17.
11. 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.
12. Гапочка Л. Д., Гапочка М. Г., Королев А. Ф., Рошин А. В., Сухоруков А. П., Сысоев Н. Н., Тимошкин И. В. Механизмы функционирования водных биосенсоров электромагнитного излучения. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2000. № 3. С. 48–55.

13. Володько И. К., Рупасова Ж. А., Титок В. В. *Эколого-биологические основы интродукции рододендронов (Rhododendron L.) в условиях Беларуси*. Под ред. В. И. Парфенова. Минск: Беларуская навука, 2015. 269 с.
14. Исаин В. Н. *Основы ботаники*. М.: Сельхозгиз, 1954. 167 с.
15. *Генетические основы селекции растений*: в 4 т. Т. 1. Общая генетика растений. Под ред. А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой. Минск: Беларуская навука, 2008. 551 с.
16. *Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 16. Радиочастоты и микроволны*. Пер. с англ. Женева: ВОЗ, 1984. 145 с.
17. ГОСТ 10968-88. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания. Москва, 1988. 5 с.
18. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення. Київ, 2003. 173 с.
10. Petrosyan, V. I., Sinitsyn, N. I., Yolkin, V. A., Bashkatov, O. V., 2000. Interaction of water-containing media with magnetic fields. *Ibid.*, pp. 10–17 (in Russian).
11. Betskiy, O. V., Lebedeva, N. N., Kotrovskaya, T. I., 2002. Stochastic resonance and the problem of the effect of weak signals on biological systems. *Millimetrovye volny v biologii i meditsine*, 3(27), pp. 3–11 (in Russian).
12. Gapochka, L. D., Gapochka, M. G., Korolev, A. F., Roshin, A. V., Sukhorukov, A. P., Sysoev, N. N., Timoshkin, I. V., 2000. Mechanisms of functioning of water biosensors of electromagnetic radiation. *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 3, pp. 48–55 (in Russian).
13. Volodko, I. K., Rupasova, Zh. A., Titok, V. V., 2015. *Ecological and biological bases of the introduction of rhododendrons (Rhododendron L.) in the area of Belarus*. Minsk: Belaruskaya Navuka Publ. (in Russian).
14. Isain, V. N., 1954. *Fundamentals of Botany*. Moscow: Sel'khozgiz Publ. (in Russian).
15. Kilchevsky, A. V., Khotyleva, L. V. eds., 2008. *Genetic bases of plant breeding*. Vol. 1. *General genetics of plants*. Minsk: Belaruskaya Navuka Publ. (in Russian).
16. *Hygienic criteria of the state in environment*. Iss. 16. Radio frequencies and microwaves. Geneva: WHO, 1984. 145 p.
17. USSR State Standard, 1988. GOST 10968-88. *Methods of determination of germination energy and germination capacity*. Moscow: Publ. house of standards (in Russian).
18. National Standard of Ukraine, 2003. DSTU 4138-2002. *Seeds of agricultural crops. Methods of the quality determination*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine (in Ukrainian).

REFERENCES

1. Shein, A. G., Krivonos, N. V., 2003. The foundation for some effects of low-intensity microwave radiation on a living organism with help of a trigger model. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika*, 4, pp. 12–22 (in Russian).
2. Shein, A. G., Nikulin, R. N., 2003. Approaches to modeling the impact of electromagnetic field with microwave frequency of low intensity on the ion transport of substances through biological membranes. *Ibid.*, pp. 4–11 (in Russian).
3. Petrosyan, V. I., Sinitsyn, N. I., Yolkin, V. A., Devyatkov, N. D., Betsky, O. V., 2000. Water, paradoxes and the value of small quantities. *Biomedical radioelectronics*. № 2. P. 4-9 (in Russian).
4. Betsky O. V., Yaremenko Yu. G. Skin and electromagnetic waves. *Millimeter waves in biology and medicine*. 1998. № 1 (11). pp. 3–14 (in Russian).
5. Shchegoleva T. Yu., 2006. *The study of biological objects in the millimeter range of radio waves*. Kiev: Naukova dumka Publ. (in Russian).
6. Tambiev, A. Kh., Kirikova, N. N., 2000. Some new ideas about the reasons for the formation of stimulating effects of microwaves radiation. *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 1, pp. 23–31 (in Russian).
7. Kirichuk, V. F., Maiborodin, A. V., Volin, M. V., 2001. Impact of electromagnetic oscillations of the microwave at the frequencies of the molecular absorption spectrum and radiation of nitric oxide on platelets, as effector cells of the homeostasis system. *Millimetrovye volny v biologii i meditsine*, 1–2, pp. 3–10 (in Russian).
8. Zvershkovsky, I. V., Loshitsky, P. P., Poygina, M. I., Chichinadze, Zh. A., 1997. Microwave technologies in agrobiology and medicine. In: *Proc. 7th Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology"* (CriMiCo'1997). Sevastopol, Crimea, Ukraine, 15–18 Sept. 1997, pp. 102–105 (in Russian).
9. Petrosyan, V. I., Sinitsyn, N. I., Yolkin, V. A., Brill, G. E., Razumnik, D. A., 2000. Laser-stimulated radio emission from biotissues and water media. *Biomeditsinskaya radioelektronika*, 2, pp. 52–57 (in Russian).

Рукопись поступила 02.05.2018.

O. I. Kovalenko

PARTICULARITIES OF THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD MEDIATED BY WATER ON WHEAT SEEDS

Subject and purpose. Particularities of the targeted modification of functionals of the wheat seeds state by irradiation with a low-intensity electromagnetic field (EF) were investigated.

The aim of the work was to investigate the effectiveness of low-intensity electromagnetic field mediated by water on wheat seeds depending on their initial state, evaluated statistically as “norm” and “pathology”, and to study the possibility of functional reconstruction of the wheat seeds with the “pathology” state.

Methods and methodology. The work is experimental. Approved radio-physical, radio-technical, biological methods and techniques were used in this work. Generators Г4-141 (37.5...53.57 GHz) and Г4-142 (53.57...78.33 GHz) were used for electromagnetic field irradiation. Efficiency of the electromagnetic field influence was evaluated using functionals of the seed state: energy of growing, average length of roots and seedlings in each portion. Statistical methods

were used in the processing and the analysis of the obtained results.

Results of work. The possibility of a targeted modification of the functional parameters of wheat seeds upon their interaction with water, previously irradiated with EF, was established. Differences in the effectiveness of the water-mediated influence of EF depending on the frequency and exposure of the signal were shown. We found the dependence of biological reaction of the wheat seeds on the electromagnetic field irradiation mediated by water. The reaction depends on the initial state of the seeds: those in the “norm” state get oppressed, while those in the “pathology” state are stimulated. The application of water-mediated electromagnetic field influence on wheat seeds in the “pathology” state was shown to be promising for restoring of the lost functional properties. Efficient regimes of electromagnetic field influence mediated by water were established.

Conclusion. Water-dissipative model of the electromagnetic field interaction with substance was confirmed. Method of the electromagnetic field influence mediated by water on wheat seeds was proposed. It allows stimulating their lost properties, which is promising for development of agricultural technologies.

Keywords: electromagnetic field, wheat seeds, water, mediated influence.

О. И. Коваленко

ОСОБЛИВОСТІ ОПОСЕРЕДКОВАНОГО ЧЕРЕЗ ВОДУ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА НАСІННЯ ПШЕНИЦІ

Предмет і мета роботи. Розглянуто особливості цілеспрямованої модифікації функціоналів стану насіння пшениці за допомогою опромінення низькоінтенсивним електромагнітним полем (ЕМП). Мета – дослідити ефективність опосередкованого через воду впливу

низькоінтенсивного ЕМП в дискретних смугах надзвичайно високочастотного діапазону на насіння пшениці в залежності від його початкового стану, що оцінюється статистично як «норма» і «патологія», а також вивчити можливості функціонального відновлення насіння пшениці в стані «патологія».

Методи і методологія роботи. Робота є експериментальною. У ній використовувалися апробовані радіофізичні, радіотехнічні, біологічні методи і засоби впливу. В якості джерела опромінення взяті генератори Г4-141 (37,5...53,57 ГГц) і Г4-142 (53,57...78,33 ГГц). Ефективність опосередкованого впливу ЕМП оцінювалася за зміною функціоналів стану насіння: енергії проростання, середньої довжини коренів і проростків в кожній вибірці. Для обробки і аналізу результатів використані статистичні методи.

Результати роботи. Встановлено можливість цілеспрямованої модифікації функціональних показників насіння пшениці при їх взаємодії з водою, що була попередньо опромінена ЕМП. Показано відмінності в ефективності опосередкованого через воду впливу ЕМП від частоти і експозиції сигналу. Виявлено залежність біологічного відгуку насіння пшениці на опосередковане через воду електромагнітне опромінення від їх вихідного стану: наявність пригнічення в стані «норма» і стимуляції в стані «патологія». Показана перспективність застосування опосередкованого через воду впливу ЕМП на насіння пшениці, що знаходиться в стані «патологія», для відновлення втрачених функціональних властивостей. Визначено ефективні режими опосередкованого через воду впливу ЕМП.

Висновки. Підтверджено водно-дисипативну модель взаємодії ЕМП з речовиною. Запропоновано опосередкований через опромінену воду метод впливу ЕМП на насіння, що дозволяє стимулювати його втрачені властивості, для розвитку сільськогосподарських технологій.

Ключові слова: електромагнітне поле, насіння пшениці, вода, опосередкований вплив.