

**В.И. Крюков**, доктор биологических наук, профессор  
**А.И. Золотухин**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
**Е.В. Афонина**, студентка  
**Е.Ю. Репина**, студентка

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина», Россия, г. Орёл  
тел. 8 (4862) 47 51 71, e-mail: iniic@mail.ru

V.I. Kriukov, doctor of biological sciences, professor  
A. I. Zolotukhin, candidate of agricultural sciences, associate professor  
E. V. Afonina, student  
E. Y. Repina, student  
Orel state agrarian university, Russia, Orel

## **ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО (50 Гц) ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗЛИЧНОЙ НАПРЯЖЁННОСТИ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПРОСА**

Influence of a low-frequency (50 Hz) electromagnetic field of different intensity  
on seed germination and development of millet seedlings

### **Резюме**

Исследовали результаты 7-дневного воздействия низкочастотного электромагнитного поля (частота 50 Гц; напряжённость 0,03, 269, 329, 331, 389 и 492 А/м) на процесс прорастания семян и развития проростков проса (*Panicum miliaceum*). Недельное воздействие электромагнитного поля 1) не оказывало статистически достоверного влияния на всхожесть семян, которая варьировала в пределах 81,7-92,3% при контрольной величине 87,6%; 2) вызывало статистически достоверное увеличение средней длины первичного корня (48,4-75,9 мм при 37,5 мм в контроле); 3) вызывало статистически достоверное увеличение средней длины ростков (19,6-45,3 мм при 16,5 мм в контроле).

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, просо (*Panicum miliaceum*), всхожесть семян, длина первичного корня, длина ростка.

### **Summary**

Results of 7-day exposure to low frequency electromagnetic fields (frequency 50 Hz, intensity of 0.03, 269, 329, 331, 389 and 492 A / m) on the process of seed germination and seedling development of millet (*Panicum miliaceum*) were investigated. Weekly exposure to electromagnetic fields 1) had no statistically significant effect on the germination of seeds, which is varied in the range 81.7-92.3% at a reference value of 87.6%; 2) caused a statistically significant increase in the average length of the primary root (48.4-75.9 mm and 37.5 mm in the control); 3) caused a statistically significant increase in the average length of the sprouts (19.6-45.3 mm and 16.5 mm in the control).

**Keywords:** low-frequency electromagnetic field, millet (*Panicum miliaceum*), seed germination, the length of the primary root, germ length.

### **Введение**

Фоновые уровни электромагнитных полей (далее сокращённо – ЭМП) различных частот были одним из экологических факторов на протяжении всей эволюции растений. Можно предположить, что наличие ЭМП окажется пусть слабым, но необходимым условием нормального развития растений. Вместе с тем, в условиях хозяйственной деятельности современного человека, фоновые ЭМП могут быть нивелированы или искажены, например, при хранении семян в хранилищах с полностью металлическими стенами и крышей или при развитии растений в условиях длительных космических полётов за пределами воздействия ЭМП Земли. Поэтому изучение воздействия слабых и сверхслабых ЭМП различных частот представляет собой чрезвычайно важную фундаментальную и прикладную проблему биологии.

С другой стороны в настоящее время в связи с интенсивным развитием радиоэлектроники и различных средств радиосвязи происходит существенное увеличение уровня фона неионизирующих ЭМП различных частот – от ОНЧ (=КНЧ; 3 кГц) до КВЧ (300 ГГц). Воздействию этих ЭМП подвергаются все живые организмы населяющие Землю. Для сельскохозяйственной практики особый интерес представляют ЭМП промышленной частоты –50-60 Гц (низкочастотные). Современное растениеводство и, прежде всего – тепличное растениеводство, немыслимо без использования электрических приборов и механизмов. Наличие в теплицах электрических сетей и электроприборов неизбежно будет усиливать электромагнитный фон среды обитания растений. Но и в

условиях полевого выращивания растений, они могут подвергаться воздействию сильных электромагнитных полей т.к. часть сельскохозяйственных угодий оказываются в зоне расположения высоковольтных линий электропередач, вдоль которых формируются сильные ЭМП.

Для объяснения возможных механизмов воздействия ЭМП на живые организмы предложен ряд гипотез. В частности отметим такие как циклотронный резонанс, образование радикальных пар, связанное с модуляцией синглет-триплетных взаимопревращений, а также изменение ориентации ферритмагнитных частиц в тканях [8, 16]. В настоящее время исследователи ведут интенсивные анализы физиологических, биохимических и биофизических механизмов воздействия ЭМП различных частот на растения. Но информации о них, по свидетельству специалистов, ещё очень мало, а полученные факты достаточно противоречивы [5-7, 14, 15].

Целью наших исследований был анализ влияния на всхожесть и прорастание семян достаточно высоких уровней напряжённости электромагнитного поля с тем, чтобы позднее проанализировать одновременное, сочетанное действие на ростовые процессы электромагнитного поля с некоторыми химическими факторами. В настоящем сообщении изложены результаты анализа влияния на прорастание семян проса электромагнитного поля частотой 50 Гц и напряжённостью до 492 А/м.

## Материалы и методы

Материалом для исследования служили семена и проростки проса (*Panicum miliaceum*) сорта «Квартет» урожая 2015 года.

Исследуемым фактором было переменное электромагнитное поле промышленной частоты (50 Гц) различной напряжённости, создаваемой в полости индукционной катушки, намотанной на текстолитовый каркас прямоугольного сечения. Многослойная рядовая обмотка индукционной катушки выполненная одножильным алюминиевым проводом марки «АПВ-10» диаметром  $\approx 3,5$  мм в виниловой изоляции и имеет 11 отводов, позволяющих использовать различное число её витков. Катушку подключали к сети 220 В через лабораторный автотрансформатор марки ТДGC2-1К (ЭТК «Энергия», Россия). Использование автотрансформатора и отводов от обмотки катушки позволяли изменять интенсивность электрического и магнитного полей внутри её полости размером 48×29×20 см.

Для изучения прорастания семян и развития проростков применяли лабораторный вегетационный рулонный метод. По  $110 \pm 10$  семян проса размещали на увлажнённой полосе фильтровальной бумаги, уложенной на ленту из плотного чёрного полиэтилена. После укладки семян полиэтиленовую ленту вместе с фильтровальной бумагой заворачивали в рулон и помещали в стеклянный цилиндр с небольшим количеством дистиллированной воды. Стеклянные цилиндры с рулонами закрывали полиэтиленовыми крышками (для предотвращения высыхания бумаги в рулонах) и, в зависимости от варианта, устанавливали либо в полость катушки, либо в вегетационный короб вне катушки. И катушка, и вегетационный короб находились в помещении, температура которого автоматически поддерживалась на уровне  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ .. Семена проса проращивали в темноте в течение 7 суток. По истечении этого срока рулоны разворачивали, подсчитывали число не проросших семян и измеряли длины первичного корня и ростка каждого проростка.

Полученные данные были проанализированы статистически с использованием компьютерных программ «Statistica 6.0» и «STADIA 6.5». Статистический анализ всхожести семян с использованием U-критерия после ф-преобразования частот [13] не проросших семян выполнен в «Excel».

## Результаты и обсуждение

**Влияние ЭМП на всхожесть семян.** Реакция семян на воздействие электромагнитного излучения может быть различной. По результатам исследований, опубликованным ранее, результат воздействия ЭМП на семена зависит от вида и сорта растений, качества семенного материала, дозы и времени облучения, длительности периода отлёжки семян (периода от окончания облучения семян до их посева или лабораторного проращивания) и целого ряда факторов окружающей среды. Установлено, что степень влажности семян в момент воздействия на них ЭМП может сильно отражаться на последующей всхожести семян и интенсивности развития корней и стеблей [3, 9, 11].

Поэтому все процессы их активизации к прорастанию протекали под воздействием этих факторов, что, вероятно, могло отразиться на всхожести семян. Анализ доли проросших семян показал следующее.

В нашем эксперименте все семена были из одной партии, что позволяло предположить их одинаковую влажность. Воздействие ЭМП начиналось сразу же после замачивания семян. По этим причинам влажность семян не определяли. Лабораторная всхожесть семян, анализируемая по истечении недельного развития семян, варьировала в пределах 81,7-92,3%. Всхожесть семян в контроле составила 87,6%. Статистический анализ данных показал, что недельное воздействие ЭМП указанных режимов на замоченные семена и образовавшиеся проростки не оказало статистически достоверного влияния на всхожесть семян (табл. 1).

При этом коэффициент корреляции всхожести семян в исследованных вариантах опыта с напряжённостью воздействующего ЭМП был умеренным и положительным ( $r = 0,581$ ). Зависимость всхожести семян от напряжённости ЭМП в среде прорастания статистически достоверно интерполируется выражением  $y = 85,062 + 0,010 \cdot x$  (рис. 1).

Таблица 1. - Лабораторная всхожесть семян проращиваемых в условиях воздействия ЭМП разной напряжённости.

Напряжённость ЭМП, А/м	Замочено семян	Проросло семян	Не проросли		Лабораторная всхожесть, %	Отличие от контроля, Р
			Не наклюнулись	Наклюнулись		
0, Контр	105	92	7	6	87,6	–
0,03	131	107	20	4	81,7	<0,05
269	103	90	9	4	87,4	<0,05
329	101	90	10	1	89,1	<0,05
331	109	96	12	1	88,1	<0,05
389	108	100	6	2	92,3	<0,05
492	113	98	15	–	86,8	<0,05

На основании полученных результатов следует сделать вывод об отсутствии в проведённом нами эксперименте влияния ЭМП частотой 50 Гц и напряжённостью 0,03-492,0 А/м на всхожесть семян. Вместе с тем, ранее в экспериментах, выполненных на пшенице, было установлено [1], что кратковременные воздействия переменного ЭМП низкой напряжённости повышают всхожесть семян, а длительное воздействие ЭМП с теми же характеристиками всхожесть семян снижает.

Жолобова М.В. с сотрудниками [3] исследовали влияние НЧ ЭМП частотой 50 Гц на энергию прорастания трёх различных сортов ячменя в специальной лабораторной установке с кольцевыми полюсными накопительными прямоугольного сечения. Были установлены оптимальные для разработанной авторами установки режимы облучения семян для получения максимальной энергии их прорастания, а также выявлено, что на энергию прорастания после облучения влияет сортовая принадлежность, влажность семян и время их облучения. Низкочастотные ЭМП используются для активизации прорастания семян лесных культур. Воздействие на семена хвойных пород ЭМП низкой (1-16 и 9-19 Гц) вызывали активизацию прорастания семян всех классов качества, причём более заметным стимулирующий эффект наблюдался у старых семян с пониженной всхожестью. Осенняя обработка семян ЭМП была менее эффективной по сравнению с весенней, видимо, потому что осенью облучённые семена вынуждены были оставаться в покое более длительное время, чем облучённые весной [9, 11].

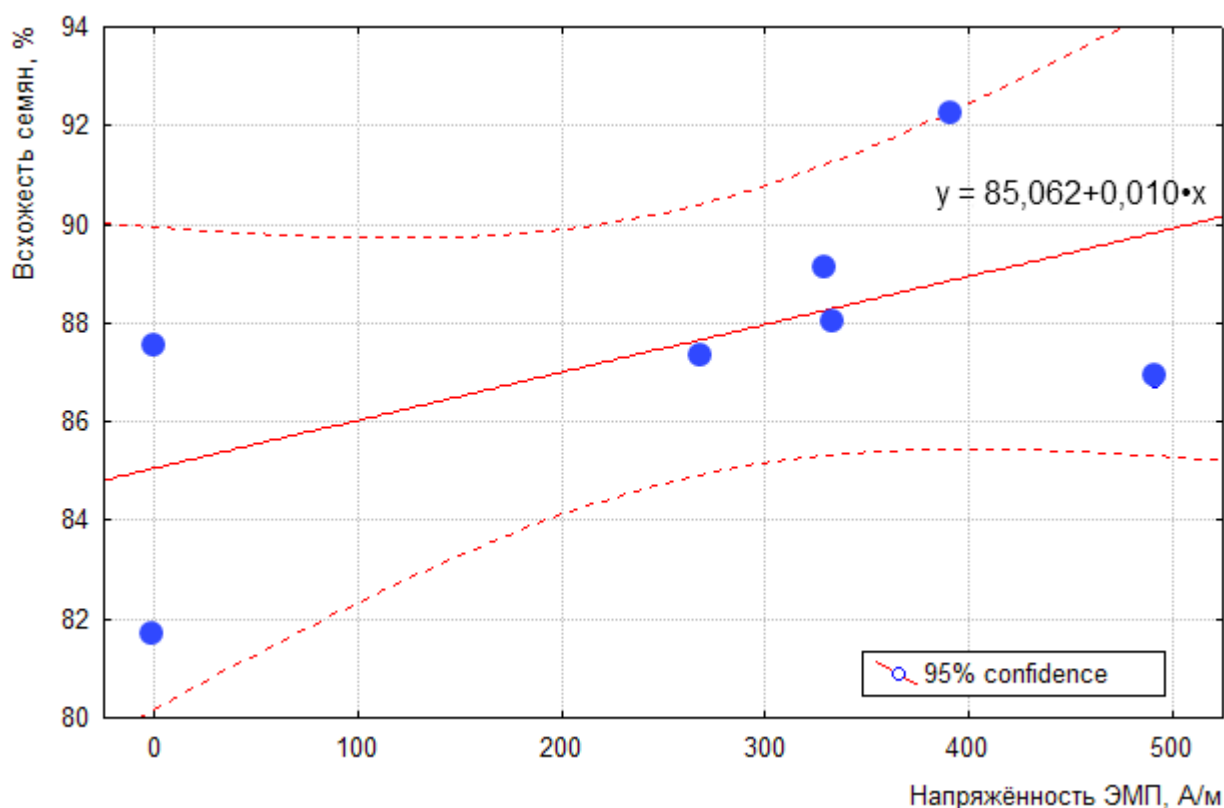


Рис.1. Зависимость всхожести семян (%) от напряжённости ЭМП (А/м).

В задачи нашего эксперимента не входило установление стимулирующего эффекта воздействия ЭМП, т.к. такой эффект обнаруживают кратковременные (от нескольких секунд до нескольких десятков минут) и низкоинтенсивные ЭМП. Нас интересовали результаты хронического воздействия высоких ЭМП высоких уровней

напряжённости. Вероятно, именно эти режимы воздействия на прорастающие семена и обусловили отсутствие различий во всхожести в разных вариантах опыта.

**Влияние ЭМП на рост корня.** У прорастающих семян 0,03 проса первым появляется первичный корень. В контроле длина корней у разных проростков к концу 7 суток развития варьировала от 6 до 54 мм. Средняя длина первичных корней во всей контрольной выборке равнялась  $37,5 \pm 1,2$  мм (табл. 2).

Таблица 2 - Влияние переменного электромагнитного поля частотой 50 Гц и различной напряжённости на среднюю длину первичных корешков недельных проростков проса

Напряжённость ЭМП, А/м	Размер выборки	lim		Средняя длина корней	Стандартное отклонение, $\sigma$	Коэффициент вариации, $C_v$ , %	Отличие от контроля, Р
		min	max				
0, Контр.	92	6	54	$37,5 \pm 1,2$	11,3	30,1	–
0,03	107	7	68	$48,7 \pm 1,2$	12,2	25,1	<b>&gt;0,001</b>
269	90	10	87	$56,1 \pm 1,7$	15,7	28,0	<b>&gt;0,001</b>
329	90	11	95	$76,6 \pm 1,7$	15,7	20,5	<b>&gt;0,001</b>
331	96	21	91	$65,7 \pm 1,2$	11,8	18,0	<b>&gt;0,001</b>
389	100	17	95	$75,9 \pm 1,4$	14,0	18,4	<b>&gt;0,001</b>
492	98	15	71	$48,4 \pm 1,3$	13,1	27,1	<b>&gt;0,001</b>

При повышении напряжённости ЭМП средняя длина корней статистически достоверно увеличивается до 76,6 мм в варианте воздействия ЭМП напряжённостью 329 А/м. Затем длина первичных корешков несколько уменьшается (до 65,7 мм), но затем вновь увеличивается до 75,9 мм, почти достигая максимальной величины (76,6 мм). И лишь ЭМП максимальной напряжённости (492 А/м) приводит к снижению стимулирующего эффекта электромагнитного поля средняя длина первичных корней у проростков составляла лишь  $48,4 \pm 1,3$ . Величины средних арифметических длин первичного корня у всех экспериментальных вариантах воздействия ЭМП статистически достоверно отличаются от средней длины первичного корня в контрольном варианте. Однофакторный дисперсионный анализ этих данных также свидетельствует о статистически достоверном влиянии ЭМП на длину первичного корня у проростков проса (табл. 3). Следует также отметить уменьшение коэффициентов вариации длин первичных корней у растений, подвергшихся действию электромагнитного поля.

Таблица 3 - Результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния ЭМП на длину первичных корней недельных проростков проса, полученные в программе STADIA 6.5.

Источник	Сум. квадр	Ст. своб	Ср. квадрат	F	Значимость	Сила влияния
Фактор ЭМП	$1,402 \cdot 10^5$	1	$1,402 \cdot 10^5$	7,761	$3,719 \cdot 10^{-5}$	-0,0586
Остат.	$2,168 \cdot 10^5$	12	$1,807 \cdot 10^4$			
Общая	$3,571 \cdot 10^5$	13	$2,747 \cdot 10^4$			

F (фактор ЭМП) = 7,761, Значимость =  $3,719 \cdot 10^{-5}$ , степ. своб = 12  
Гипотеза 1: (Есть влияние фактора на отклик)

Коэффициент корреляции средних арифметических длин первичных корней с напряжённостью ЭМП умеренный ( $r = +0,570$ ), зависимость же длин первичных корней от напряжённости может быть интерполирована уравнением  $y = 46,840 + 0,045 \cdot x$  (рис. 2).

Снижение интенсивности роста корня при очень высокой напряжённости ЭМП, вероятно, происходит из-за нарушения метаболических процессов и изменения пролиферативной активности клеток в конусах нарастания. Аналогичное торможение развития проростков при воздействии ЭМП на поздних стадиях прорастания семян, а также при увеличении продолжительности обработки семян ЭМП было установлено в экспериментах Аксенова С.И. [1] и А.О Кошкиной [2011]. Шашурин М.М. с сотр. [14] обнаружил, что при увеличении параметров напряжённости электрического и индукции магнитного поля интенсивность протекания процессов биосинтеза ДНК и белка в клетках подорожника снижалась в 1,1-1,3 раза по сравнению с контролем. Угнетение этих процессов могло, по мнению авторов, снижать лабораторную всхожесть семян и митотическую активность меристематических клеток корешков проростков подорожника. Реагирование митотических индексов на воздействие ЭМП частотой 50 Гц в течение 1-36 часов было доказано экспериментами [19]. Это может происходить за счёт ранее установленных нарушений синтеза нуклеиновых кислот и белков, которые отражаются на интенсивности клеточного деления и темпах роста растений [12, 18].

ЭМП могут быть стрессовым фактором и их воздействие на растения может вызывать в клеточных мембранах липотропный эффект, который происходит путём активирования липаз и фосфолипаз а также перекисного окисления липидов. Эти процессы обусловлены усилением генерации активных форм кислорода и свободных радикалов. Установлено, что активность ферментов антиоксидантной защиты и интенсивность процессов перекисного окисления липидов тесно взаимосвязаны и зависят от интенсивности электромагнитного поля действующего на растения [10, 14, 17, 20].

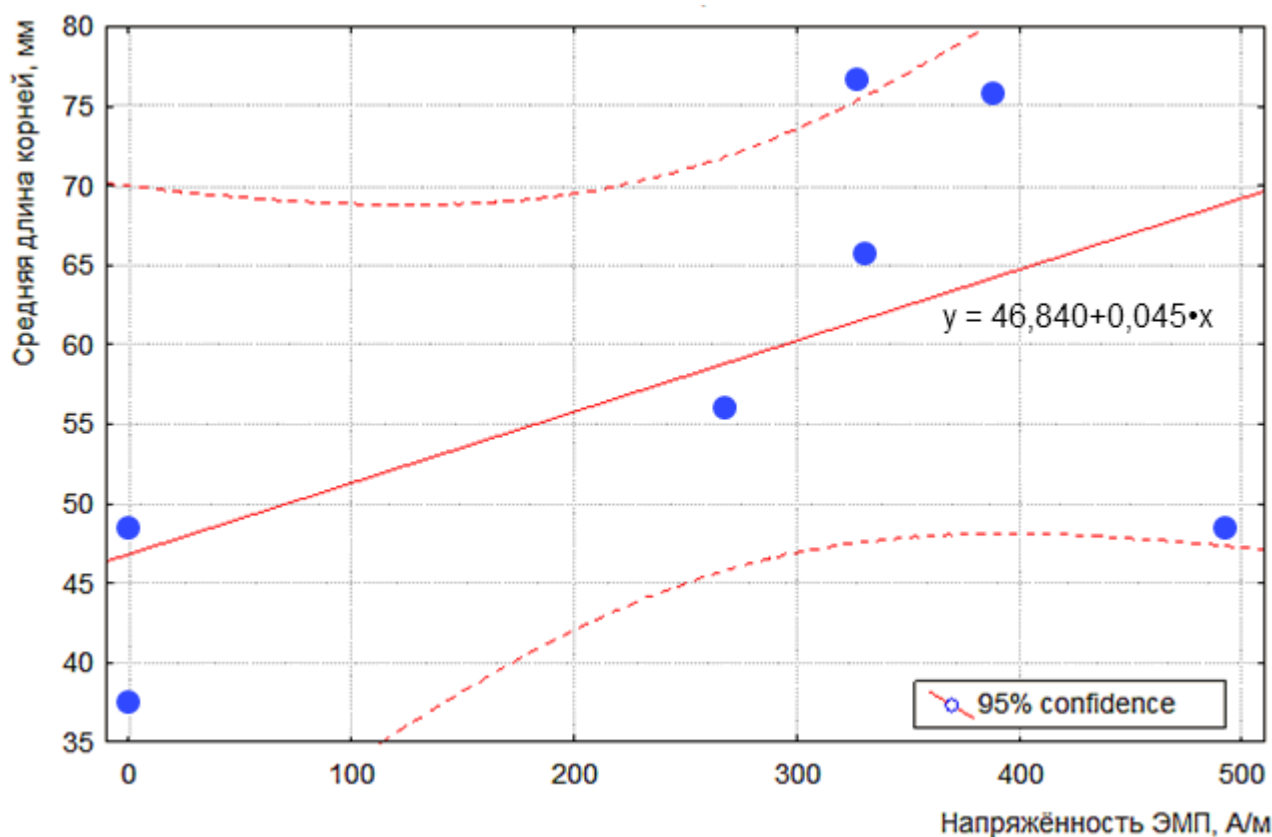


Рис. 2. Зависимость средней арифметической длины первичного корня у недельных проростков проса от напряжённости электромагнитного поля.

**Влияние ЭМП на длину ростков.** Длина ростка у проростка является важным показателем влияния внешних факторов на метаболические процессы, происходящие в растительном организме. В контрольном варианте длина ростков недельных проростков составляла 16,5 мм (табл. 4). Воздействие ЭМП постепенно возрастающей напряжённости стимулировало рост стеблей. Длина ростков постепенно возрастала и становилась максимальной (45,3 мм) при воздействии ЭМП напряжённостью 329 А/м. Увеличение напряжённости до 331 А/м несколько снижало интенсивность роста корней, но при его увеличении до 389 А/м вновь происходила интенсификация ростовых процессов в стебле. При максимальной напряжённости переменного ЭМП происходило некоторое замедление ростовых процессов также, как это наблюдали у корней. Волнообразную реакцию линейных параметров проростков на изменение параметров ЭМП обнаруживали и другие исследователи [например, 14].

Коэффициенты вариации длин ростков при увеличении напряжённости ЭМП постепенно снижаются с 53,9% в контрольном варианте до 23,5% при напряжённости 389 А/м и лишь при максимальной напряжённости (492 А/м) вариация длин ростков вновь увеличивается, но продолжает оставаться меньшей чем в контроле. Похожую картину мы наблюдали и в случае изменчивости длины первичного корня. Механизмы, уменьшающие величину варьирования изученных признаков предстоит, пока остаются невыясненными.

Таблица 4 - Влияние переменного электромагнитного поля частотой 50 Гц и различной напряжённости на среднюю длину ростков недельных проростков проса.

Напряжённость ЭМП, А/м	Размер выборки	lim		Средняя длина стеблей	Стандартное отклонение, σ	Коэффициент вариации, C <sub>v</sub> , %	Отличие от контроля, P
		min	max				
0, Контр	92	0	37	16,5 ± 0,9	8,9	53,9	–
0,03	107	1	41	19,6 ± 0,9	9,1	46,4	>0,05
269	90	1	46	27,9 ± 1,0	9,2	33,0	>0,001
329	90	1	69	45,3 ± 1,3	12,2	26,9	>0,001
331	96	9	48	31,6 ± 0,8	8,3	26,3	>0,001
389	100	7	70	51,5 ± 1,2	12,1	23,5	>0,001
492	98	1	50	26,2 ± 1,2	11,4	43,5	>0,001



Таким образом, действующее переменное электромагнитное поле оказывало стимулирующее действие на ростовые процессы и корня и стебля недельных проростков проса до значений равных 389 А/м. При увеличении напряжённости электромагнитного поля до максимальной величины (492 А/м) происходило некоторое уменьшение интенсивности ростовых процессов, но при этом они оставались существенно выше контрольных величин.

Зависимость средних арифметических длины корня от напряжённости ЭМП показана на графике (рис. 3) и может быть интерполирована уравнением  $y = 20,109 + 0,043 \cdot x$ . Коэффициент корреляции средних длин корня с напряжённостью электромагнитного поля оказался умеренным и положительным – 0,632. Таким образом, с увеличением напряжённости электромагнитного поля рост стеблей проростков происходит более интенсивно, но ингибируется максимальными (492 А/м) напряжённостями ЭМП

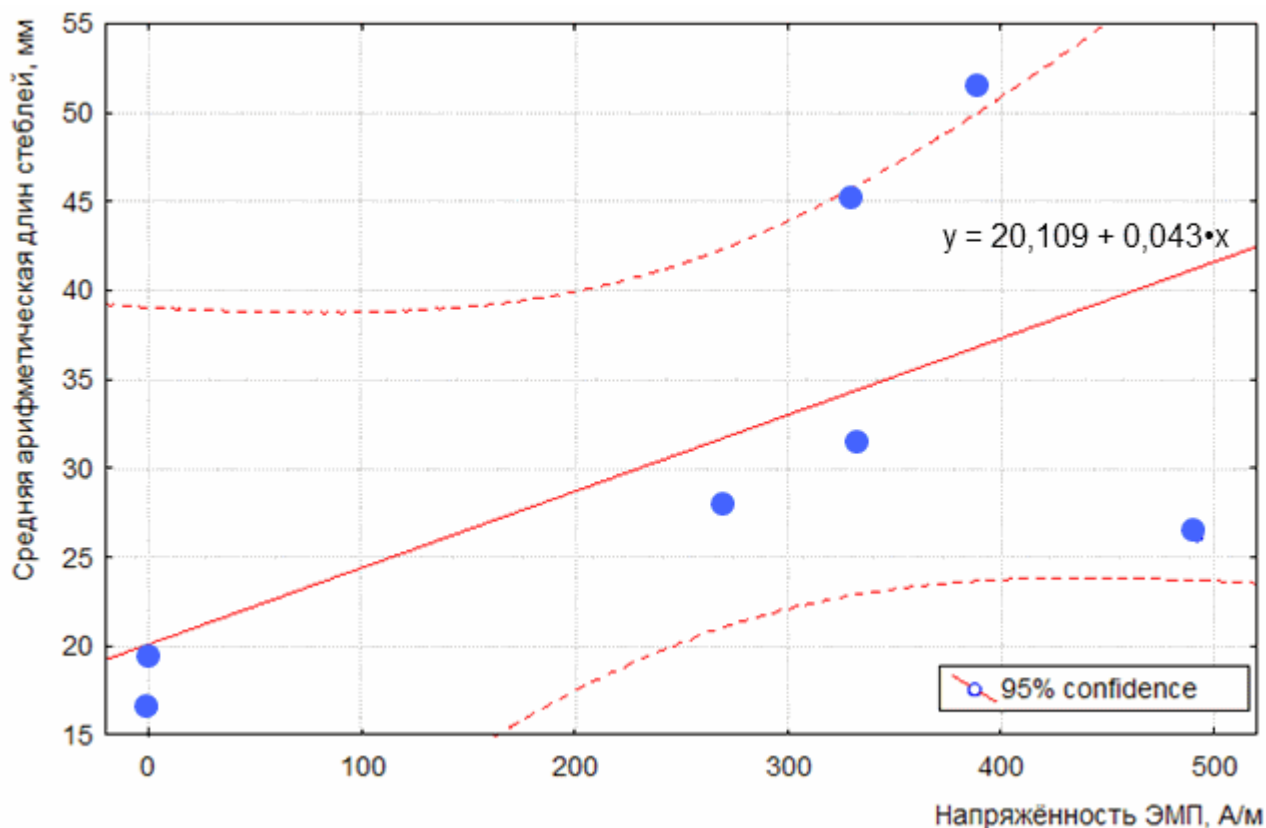


Рис. 3. Зависимость средней арифметической длины ростков у недельных проростков проса от напряжённости электромагнитного поля.

Полученные нами результаты достаточно хорошо согласуются с результатами других исследований. Так, в экспериментах А.О. Кошкиной [2012] обработка семян пшеницы в специально созданном устройстве для предпосевной обработки семян (УТЭМС -1), обеспечивающем воздействие на семена тепла и ЭМП, установлен более интенсивный рост по сравнению с контролем. Кратковременная предпосевная стимуляция семян ячменя приводила к ускорению развития проростков ячменя [4]. В то же время в экспериментах Аксенова С.И. [1] 6-дневное воздействие ЭМП на семена пшеницы в период их набухания приводило к замедлению развития проростков. Возможно, что различия в обнаруженных эффектах действия ЭМП обусловлены его физическими параметрами в экспериментах различных авторов. Известно, что ЭМП определенной напряженности и частоты могут изменять проницаемость биологических мембран и активность некоторых ферментов. При этом даже небольшие изменения параметров электромагнитного воздействия могут изменить интенсивность и механизм осуществления ответа биосистемы [2].

**Корреляция длин корней и стеблей при различной напряжённости ЭМП.** Представляет интерес сравнение реакций ростков и первичных корней проростков проса на увеличение напряжённости электромагнитного поля в среде прорастания. Для выяснения этого вопроса внутри контрольной выборки и каждого из 5 вариантов воздействия ЭМП были проанализированы корреляции величины стебля с длиной корня. Вычисленные коэффициенты корреляции и функции, которыми может быть интерполированы эти зависимости, представлены в таблице 5.

Как видно из таблицы, корреляция длин ростков с длинами корней проростков умеренная – коэффициенты корреляции варьируют от 0,36 до 0,68. Строгой закономерности изменения величин коэффициентов корреляции « $l$  ростка –  $l$  корня» с увеличением напряжённости ЭМП установить не удастся. По-видимому, ЭМП влияет на рост корней и стеблей проростков через сложные механизмы регуляции метаболизма, определяемого

генотипическими особенностями отдельных проростков. Нивелировать эти особенности реакций отдельных проростков, вероятно, возможно, анализируя корреляцию средних арифметических длины ростков со средними арифметическими корнями проростков в 7 исследованных вариантах.

Таблица 5 - Коэффициенты корреляции и математические интерполяции зависимости длины стебля и длины корня при различной напряжённости ЭМП.

Напряжённость ЭМП, А/м	Размер выборки	Коэффициент корреляции	Функция зависимости длины стебля от длины корня
0, Контр.	92	0,599	$y = -1,240 + 0,274 \cdot x$
0,03	107	0,536	$y = 0,081 + 0,400 \cdot x$
269	90	0,364	$y = 16,049 + 0,212 \cdot x$
329	90	0,508	$y = 15,083 + 0,395 \cdot x$
331	96	0,681	$y = 0,723 + 0,480 \cdot x$
389	100	0,550	$y = 15,399 + 0,475 \cdot x$
492	98	0,528	$y = 3,894 + 0,461 \cdot x$

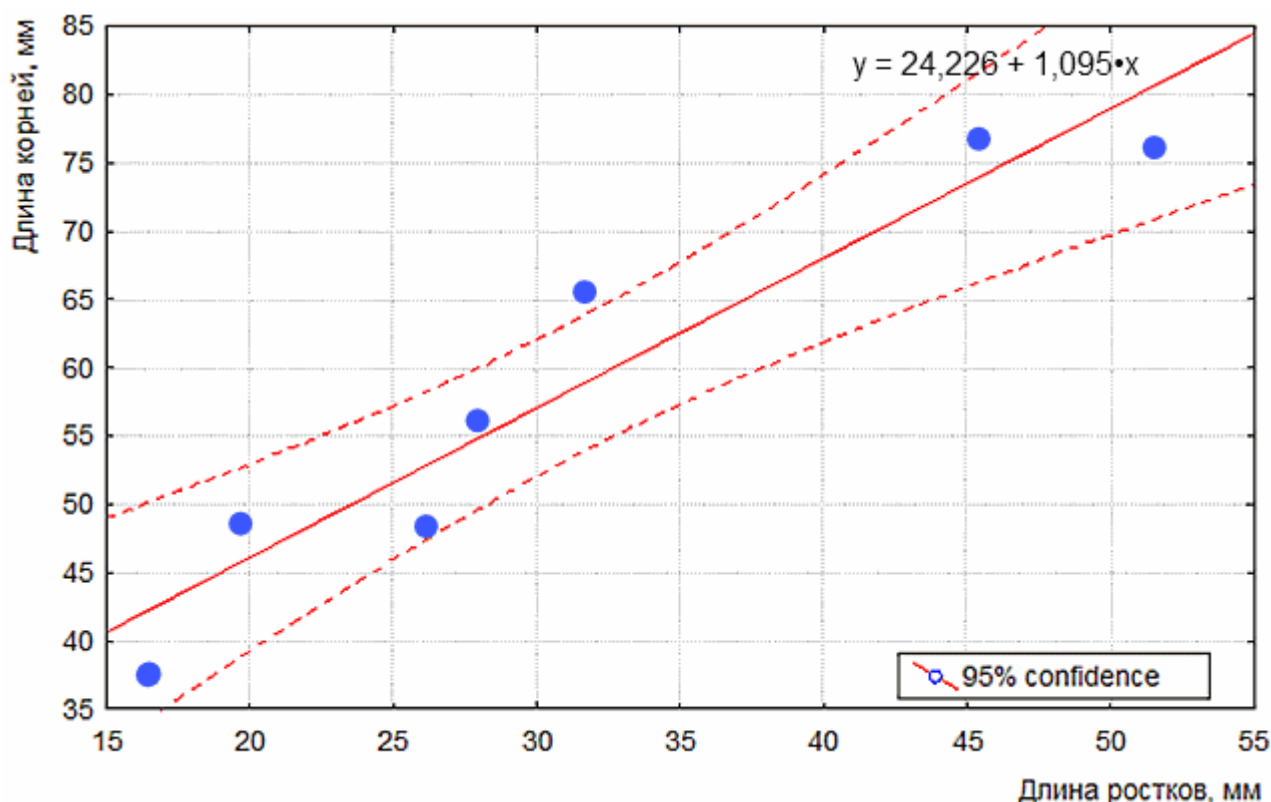


Рис. 4. Корреляция средней длины ростков со средней длиной первичных корней у недельных проростков проса, развивавшихся при воздействии ЭМП различной (0-492 А/м) напряжённости.

Корреляция средних длин корня со средней длиной ростков при изменении уровней напряжённости ЭМП характеризуется положительным и очень высоким коэффициентом ( $r = +0,949$ ), а сама зависимость интерполируется уравнением  $y = 24,226 + 1,095 \cdot x$  (рис. 4) Таким образом, с увеличением напряжённости электромагнитного поля увеличение линейных размеров и ростков и первичных корней у проростков проса происходит более интенсивно.

#### Выводы и заключение

На основании полученных результатов можно сделать выводы, что в нашем эксперименте 7-дневное воздействие электромагнитного поля частотой 50 Гц и напряжённостью в интервале 0,03-492,0 А/ оказало следующее влияние на исследованные биологические характеристики проращиваемые в темноте семена проса.

- 1) ЭМП не оказывало статистически достоверного влияния на всхожесть семян, которая варьировала в пределах 81,7-92,3% при контрольной величине 87,6%.
- 2) ЭМП вызывало статистически достоверное увеличение темпов роста первичного корня.
- 3) ЭМП вызывало статистически достоверное увеличение средней длины ростков. Изменение средних длин ростков с увеличением напряжённости ЭМП было не равномерным а волнообразным.

Исследования биологических эффектов низкочастотных ЭМП на растения имеет важное теоретическое и практическое значение и их более детальное исследование будет нами продолжено.

### Литература

1. Аксенов С. И. Физико-химический механизм чувствительности биологических процессов к слабым ЭМП низких частот. // Проблемы регуляции в биологических системах / Под общей ред. А. Б. Рубина. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 480 с.
2. Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л. Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы / Е.Б. Бурлакова, А.А. Конрадов, Е.Л. Мальцева. // Биофизика. 2004. Т. 49. –С. 551-564.
3. Жолобова М.В. и др. Анализ влияния предпосевной обработки семян переменным электромагнитным полем промышленной частоты (ЭМП ПЧ 50 Гц) на энергию прорастания семян среднеспелого ярового ячменя сортов Вакула, Виконт, Ратник. / Жолобова М.В., Федорищенко М.Г., Шабанов Н.И., Грачёва Н.Н. // Научный журнал КубГАУ, 2016, № 118 (04). [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/71.pdf> (дата обращения: 12.01.2017).
4. Казакова А.С., Майборода С.Ю. Влияние обработки семян ярового ячменя переменным электромагнитным полем промышленной частоты на прохождение микрофенологических фаз прорастания семян // Современная техника и технологии. 2015. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/12/8798> (дата обращения: 04.01.2017).
5. Ковалева А.В. Влияние электромагнитных полей и излучений на биообъекты // Запорізький національний університет. Електронне наукове видання. Актуальні питання біології, екології та хімії. 2009. Т.1. № 1. –С. 64-85.
6. Кошкина А.О. [2011] Исследования комплексного воздействия электромагнитного и теплового полей на качество посевного материала яровой пшеницы. // Современная техника и технологии. 2011. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2011/11/144> (дата обращения: 17.01.2017).
7. Кошкина А.О. [2012] Устройство для предпосевной обработки тепловым и электромагнитным полем семян // Современная техника и технологии, 2012, Июнь. [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/06/985> (дата обращения: 17.01.2017).
8. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. 1996. Т. 41. С. 224-231.
9. Орлов Ф.С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на посевные качества семян хвойных пород // Лесной вестник. 2014. №4. –С. 56-62.
10. Половинкина Е.О. и др. Изменение уровня перекисного окисления липидов и активности компонентов антиоксидантного комплекса в хлоропластах гороха при воздействии слабых импульсных магнитных полей / Половинкина Е.О., Кальясова Е.А., Сеницына Ю.В., Веселов А.П. // Физиология растений. 2011. Т. 58. № 6. –С. 930-934.
11. Смирнов А.И. и др. Использование низкочастотных электромагнитных полей для повышения посевных и фитосанитарных качеств семян хвойных пород / А.И. Смирнов, Ф.С. Орлов, Н.В. Пентелькина. // «Лес-2013», XIII Междунар. научно-техн. конф. 1.V–1.VI 2013 г.». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2013/les\\_2013/smirnov\\_isp.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2013/les_2013/smirnov_isp.htm) (дата обращения: 09.01.2017).
12. Сысоева И.В. Современное представление о биологическом действии магнитных полей и их применение в медицине // Медицинские новости. 2005. № 4. С. 21-28.
13. Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. –М.: Медицина, 1975. – 295 с.
14. Шашурин М.М. и др. Ответная реакция подорожника среднего на действие электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) / М.М. Шашурин, И.А. Прокопьев, А.А. Шеин, Г.В. Филиппова, А.Н. Журавская // Физиология растений. 2014, Т.61, № 4, –С.517-521
15. Шашурин М.М. Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор) // Наука и образование, 2015, №3. –С. 83-89.
16. Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants // J. Plant Res. 2005. V. 118. № 6. –P. 371-389.
17. Lee B.C. et al. Effects of extremely low frequency magnetic field on the antioxidant defence system in mouse brain: a chemoluminescence study/ Lee B.C., Johng H.M., Lim J.K., Jeong J.H., Baik K.Y., Nam T.J., Lee J.H., Kim J., Sohn U.D., Yoon G., Shin S., Soh K.S. // J. Photochem. Photobiol. 2004. V. 73. –P. 43-48.
18. Muszynski S., Gagos M., Pietruszewski S. Short-term pre-germination exposure to ELF magnetic field does not influence seedling growth in durum wheat (*Triticum durum*) // Pol. J. Environ. Stud. 2009. V. 18. P. 1064-1072.
19. Răcuciu M. 50 Hz frequency magnetic field effects on mitotic activity in the maize root. // Romanian J. Biophys., Bucharest, 2011. V. 21, № 1, –P. 53–62.
20. Yinan Y., Yuan L., Chunyan L. Effects of seed pretreatment on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation // Environ. Exp. Bot. 2005. V. 54. P. 286-294.

Другие работы авторов см.: [http://www.labogen.ru/50\\_bookcase/shelf-1.html](http://www.labogen.ru/50_bookcase/shelf-1.html)