

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ**

*Д. О. Хорт, кандидат сельскохозяйственных наук*

*Р. А. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук*

*А. И. Кутырёв, кандидат технических наук*

**ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»**

**г. Москва, Россия**

*E-mail: [alexeykutyrev@gmail.com](mailto:alexeykutyrev@gmail.com)*

**Аннотация.** *Целью исследования был анализ влияния электрических и магнитных полей на растения и выявление диапазонов эффективных параметров воздействия.*

*В статье представлены результаты анализа влияния электрических и магнитных полей на растения. Приведены реакции растений на слабые и сильные электрические поля. Выявлены диапазоны эффективных параметров воздействия на растения. Анализ проведенных исследований учеными показал, что электромагнитное поле следует рассматривать как абиотический активатор для воздействия на растения, при этом слабые электромагнитные поля в основном оказывают положительное влияние. В результате воздействия на растения электромагнитными полем увеличивается всхожесть и энергия прорастания семян, линейные параметры корней и ростков, живая и сухая масса растений, площадь листьев, количество ветвей, содержание хлорофилла и урожайность. Биологический эффект от применения электромагнитных полей существенно зависит от направления вектора, амплитуды, частоты, формы и количества магнитных импульсов (время экспозиции), а также от культуры и сорта растений.*

*Исследования в области использования электрических и магнитных полей имеют не только научно-технический интерес, но и прикладное значение вследствие возможности использования их для повышения урожайности культуры с одной стороны и снижения химической нагрузки на агроэкосистему за счет отказа или минимизации предпосевного протравливания семян и повышения биологической ценности зернового, кормового и овощного сырья.*

**Ключевые слова:** *электрофизические воздействия, электромагнитное поле, стимуляция роста растений, абиотические факторы*

**Актуальность.** *Во время эволюционного процесса растения испытали действие геомагнитного поля Земли (ГМПЗ), которое является естественным компонентом окружающей среды. Существуют значительные различия в силе и направлении индукции ГМПЗ. Максимальная вертикальная составляющая*

индукции магнитного полюса Земли составляет около 67 мкТл и равна нулю на магнитном экваторе. Горизонтальная составляющая максимальна на магнитном экваторе, около 33 мкТл и равна нулю на магнитных полюсах. Магнитные поля (МП) подразделяют на сверхслабые (ниже 100 нТл), слабые (от 100 нТл до 50 мТл), средние (50 мТл - 400 мТл), сильные (400 мТл - 1000 мТл) и сверхсильные (свыше 1000 мТл) [1].

Результаты проведенных исследований показывают, что слабое МП является экологически значимым фактором для растений и реализуется на разных уровнях организации растения, определяя его жизненный цикл. В связи с этим проведение научно-исследовательских работ по выявлению диапазона эффективных параметров электромагнитного поля для обработки растений является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования реакций растений проводились при различных интенсивностях МП. Использовались два экспериментальных подхода, направленных на оценку физиологических реакций растений, подвергающихся воздействию либо слабых, либо средних и сильных МП [2-5]. В большом количестве исследований описывается влияние интенсивностей МП выше уровня ГМПЗ [6-26]. Значения магнитной индукции, используемые в экспериментах, варьировались от 500 мкТл до 15 Тл.

Для исследования влияния слабых МП на биологические системы использовались различные методы, включая экранирование МП (окружение экспериментальной зоны ферромагнитными металлическими пластинами с высокой магнитной проницаемостью, которые отклоняют МП и концентрируют его в металле) и его компенсирование (в металле), используя катушки Гельмгольца [6]. В работах ученых большое внимание уделено изучению влияния омагниченной воды на растения, которая определяющим образом влияет на свойства системы, в которой участвует [27].

Началом изучения влияния магнитного поля на биологические организмы, включая растения, относят ко второй половине XIX века. Первая документально подтвержденная публикация Reinke J. (1876 г.), в которой представлены

результаты экспериментов, связанных с влиянием магнитного поля на развитие растений [18].

В более поздней публикации Tolomei G. (1893 г.) выявил эффект увеличения скорости прорастания семян в магнитном поле [20]. Это было первое исследование, демонстрирующее эффект магнитотропизма. В 1901 г. была опубликована монография Danilewski W.J. (1901 г.), в которой автор подробно рассказал об экспериментальных и теоретических основах влияния электромагнитного поля на различные биологические организмы [21].

Явление магнитотропности, обнаруженное Дж. Толомеем, было впоследствии более подробно изучено Audus L.J. (1960 г.) [22]. В начале 1963 года было обнаружено, что МП относительно низкой интенсивности стимулирует рост растений Pittman U.J. (1963 г.) [23]. Развитие биомагнитных исследований получило активное развитие в шестидесятых и семидесятых годах XX века.

Крылов А. В. и Тараканова Г. А. (1960) были в числе первых советских ученых, которые сообщили о положительном влиянии МП на растения. Они установили, что при посадке семян в искусственном ПМП или ГМПЗ рост проростков происходит более энергично в случае северной ориентации зародыша, чем при ориентации зародыша к южному магнитному полюсу [29].

В это время в США Barnothy J. M., Barnothy M. F. (1969 г.) [24] и в бывшем СССР Пресман А.С., Холодов Ю.А. (1971 г., 1978 г.) [29, 30] появились значительные монографии о влиянии магнитного поля на биологические организмы.

**Цель исследования** – провести анализ влияния электрических и магнитных полей на растения и выявить диапазоны эффективных параметров воздействия.

**Материалы и методы исследования.** При проведении исследований использованы методы научного анализа достижений, выявления и измерения взаимосвязи между исследуемыми параметрами и их систематизация, и методы обобщения и сравнения. Изучены работы ведущих ученых в области исследования: Упадышева М.Т., Донецкого В.И., Цымбала А.А., Богатина Н.И., Барышева М.Г., Джимака С.С., Новицкого Ю.И., Новицкой Г.В., Любимова В.В., Бинги В.Н., Крылова А.В., Тараканова Г.А., Смирнова А.И., Толомейя Дж.,

Авдеева В.Н, Esitken A., Turan M., Brown F.A, Козырского В.В., Gotlieb N.D., Palmer, J.D., DeSouza A., Garcia D., Sueiro L., Gilart F., Porrás E., Licea L., Imoto M., Watanabe K., Fujiwara K., Smith S.D., Mcleod B.R., Liboff A.R., Zhang H., Hashinaga F., Florez M., Carbonell M.V., Martinez E., Rochalska M., Delgado J.M., Zhang H., Hashinaga F. и других ученых.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ влияния магнитного поля на рост и урожайность сельскохозяйственных культур представлен на основе многолетних исследований многих авторов [1-43] (табл. 1).

### 1. Влияние электрических и магнитных полей на растения

Наименование растения	Составная часть растения	Параметры воздействия	Эффект	Авторы
Земляника лесная (Fragaria vesca)	Проростки	0,096, 0,192 и 0,384 Тл	Урожайность (+) Увеличение числа плодов (+)	Esitken и Turan (2004)
Земляника ананасная (Fragaria ananassa)	Вегетирующая часть	0,096 Тл, 50 Гц, во время роста	Урожайность (+) Ca, Mg (+)	Esitken и Turan (2004)
		0,192 Тл, 0,384 Тл, 50 Гц, во время роста.	Количество плодов (-) Урожайность (-)	
Абельмош (Abelmoschus esculentus)	Семена	99 мТл, 3 мин.	Скорость прорастания (+) Рост растения (+) Урожайность (+)	Naz и др. (2012)
Сахарная свекла (Sugar beet)	Вегетирующая часть	75 мТл, 50 Гц	Урожайность (+)	Pietruszewski и Wójcik (2000)
Рапс (Brassica napus)	Семена	10 мТл, 15 мин.	Рост растения (-) Живая масса (-) Сухая масса (-)	Shabrangi и др. (2010)
Нут бараний (Cicer arietinum)	Корень	0 – 250 мТл	Прорастание семян (+) Длина корней (+) Площадь поверхности (+)	Vashisth и Nagarajan (2008)
Нут бараний (Cicer arietinum)	Семена	200 мТл, 2 ч.	Скорость прорастания (+) Размер сеянца (+) Длина корня (+) Площадь поверхности корня (+) Объем корня (+) Сухой масса саженца (+)	Vashisth и Nagarajan (2008)
Нут (Chichpea)	Семена	20 – 200 мТл	Длина корня (+)	Simi и др. (2013)
Криптотения японская (Cryptotaenia japonica)	Семена	0.5, 0,75 мТл, 7 Гц, 16 дн.	Скорость прорастания (+)	Kobayashi и др. (2004)

Соя ( <i>Glycine max</i> )	Протопласт	<ГМПЗ	Увеличение количества протопластов (+) Прорастание семян (+)	Nedukha и др. (2007)
	Семена	1500 мкТл		Radhakrishnan и Kumari (2013)
Соя ( <i>Glycine max</i> )	Семена	150 мТл, 250 мТл, 60 мин.	Линейные размеры ростка (+) Живая масса ростка (+) Сухой масса ростка (+) Фотосинтез (+) Водопоглощение (+) Каталаза (+)	Shine и др. (2011)
	Семена	1500 мкТл, 10 Гц, 5 дн.		
Соя ( <i>Soybean</i> )	Вегетирующая часть	2,9 – 4,6 мТл	Рост корня, повышенное содержание хлорофиллов а и b (+)	Atak и др. (2003)
Соя ( <i>Glycine max</i> )	Ростки	150, 200 мТл	Снижение уровня O <sub>2</sub> -радикала (+) Увеличение Rubisco (+)	Baby и др. (2011) Radhakrishnan и Kumari (2012, 2013) Shine и др. (2011, 2012)
Подсолнечник однолетний ( <i>Helianthus annuus</i> )	Вегетирующая часть	50, 200 мТл, 2 ч.	Скорость прорастания (+) Линейные размеры ростка (+) Длина корня (+) Площадь поверхности корня (+) Площадь поверхности корня (+) Повышенная активность $\alpha$ -амилазы дегидрогеназы и протеазы (+) Сухая масса ростков (+) Хлорофилл (+) Повышение концентрации хлорофилла (+)	Vashisth и Nagarajan (2010)
	Семена	5 мТл, 2 ч.		Turker и др. (2007)
	Ростки	> ГМПЗ		
Подсолнечник однолетний ( <i>Sunflower</i> )	Сеянцы	30 мТл, 50 Гц	Прорастание (+)	Matwijczuk и др. (2012)
Подсолнечник однолетний ( <i>Sunflower</i> )	Ростки	20 мкТл, 16 2/3 Гц	Прорастание (+)	Fischer и др. (2004)
	Проросток	20 мкТл, 16 2/3 Гц	Живая масса (+)	
Ячмень обыкновенный ( <i>Hordeum vulgare</i> )	Вегетирующая часть	10 кВт/м	Урожайность (+)	Lemström (1904)
	Саженец	125 мТл, 1 мин. –24 ч.	Длина сеянца (+) Масса сеянца (+)	Martinez и др. (2000)
	Семена	100 кВт/м	Скорость прорастания (+)	Lynikiene и Pozeliene (2003)

Продолжение табл. 1

Ячмень, Пшеница (Wheat, Barley)	Семена	150 мТл	Прорастание, увеличение активности $\alpha$ -амилазы (+)	Pitman и др. (1979)
Ячмень обыкновенный (Hordeum vulgare)	Рассада	10 мкТл	Уменьшение сухой массы (-)	Lebedev и др. (1977)
Ячмень, Редис, Горчица (Barley, Radish, Mustard)	Семена	40-78 мкТл, 60 Гц	Прорастание (+) Эффект отсутствует (0)	Davis (1996)
Латук посевной (Lactuca sativa)	Семена	18 – 105 кВт/м, 60 Гц	Скорость прорастания (+)	Zhang и Hashinaga (1997)
Колосняк китайский (Leymus chinensis)	Семена	200 мТл, 10 мин.	Рост растения (+) Пероксидаза (+)	Xia и Guo (2000)
Колосняк китайский (Leymus chinensis)	Ростки	200, 300 мТл	Активность пероксидазы (+)	Xia и Guo (2000)
Лён обыкновенный (Linum usitatissimum)	Вегетирующая часть	Омагниченная вода, 55 дн. (полив 2 раза в неделю).	Развитие растения (+) Хлорофилл а (+) Хлорофилл б (+) Индол уксусная кислота (+) Всего фенолов (+)	Qados и Hozayn (2010)
Фасоль обыкновенная (Phaseolus vulgaris)	Семена	2 или 7 мТл	Прорастание семян (+)	Sakhnini (2007)
		100, 160 мТл	Флуоресценция (+)	Sakmak и др. (2010)
Горох посевной (Pisum sativum)	Ростки	60, 120, 180 мТл	Хлорофилл (+) Прорастание (+) Длина корней (+) Живая масса (+) Активность супероксиддисмутазы (SOD) (+)	Jovanic и Sarvan (2004) Iqbal и др. (2012) Polovinkina и др. (2011)
Фасоль обыкновенная (Phaseolus vulgaris)	Семена	7 мТл, 7 дн.	Скорость прорастания (0) Рост растений (0) Сухая масса (0) Флавоноиды (-) Рост растений (0) Размер листьев (0) Глутатионпероксидазы (+)	Sakmak и др. (2010)
	Вегетирующая часть	130 мТл., постоянное	Рост растений (0) Размер листьев (0) Глутатионпероксидазы (+)	Najafi и др. (2013)
	Семена	1,8 мТл, 30 мин/дн., 10 дн.	Скорость прорастания (-) Рост растения (-) Хлорофилл (-) Флавоноиды (-)	Najafi и др. (2013)

Продолжение табл. 1

Горох, обрикосы, яблоки (Pea, Apricot, Apple)	Семена	60 мТл	Прорастание (+)	Chao и Walker (1967)
Горох посевной (Pisum sativum)	Эпикотиль	<ГМПЗ	Удлинение клеток (+) Ca <sup>2+</sup> (+)	Negishi и др. (1999) Belyavskaya (2001) Yamashita и др. (2004)
Горох (Pea)	Семена, ростки	60, 120, 180 мТл, 50 Гц	Прорастание (+) Увеличение количества хлорофиллов а и b (+)	Iqbal и др. (2012)
Горох посевной (Pisum sativum)	Семена	250 мТл, 1 мин. – 24 ч. 1500 мкТл, 15 мин.	Длина ростка (+)	Carbonell и др. (2011)
	Ростки	3,5 – 136 мТл, магнитная вода, полив	Супероксиддисмутаза (+) Урожайность (+) Водопоглощение (+)	Polovinkina и др. (2011) Mroczek-Zdyrska и др. (2016)
	Вегетирующая часть	143 дн.		
Коровий горох (Vigna unguiculata)	Вегетирующая часть	Намагниченна я вода без спецификации, 50 дн.	Живая масса листа (+) Сухая масса листьев (+) Площадь листьев (+) Живая масса листьев (+) Сухая масса стебля (+) Стоматозная проводимость (+) Эффективность использования воды (+)	Sadeghipour и Aghaei (2013)
Горох посевной (Pea)	Семена Вегетирующая часть	30 мТл, 85 мТл, 50 Гц	Прорастание (+) Урожайность (+)	Polešny и др. (2004)
Редька посевная (Raphanus sativus)	Семена	18 – 105 кВт/м, 60 Гц	Скорость прорастания (+) Период прорастания (-)	Zhang и Hashinaga (1997)
	Семена	5 мТл, 60 Гц, 21 дн. 650 мкТл	Рост растения (+) Высота растения (+) Каталаза (+)	Smith и др. (1993)
Редька посевная (Raphanus sativus)	Ростки	185 – 650 мкТл	Активность супероксиддисмутазы (SOD) (+) Снижение поглощения CO <sub>2</sub>	Serdyukov и Novitskii (2013) Yano и др. (2004)
		500 мкТл	Стимуляция липидного синтеза (+)	Novitskaya и др. (2010) Novitskii и др. (2014)
Томат (Solanum lycopersicum)	Семена	4 – 12 кВт/см; 30 – 45 с	Скорость прорастания (+) Скорость прорастания (+) Масса плода (+)	Moon и Chung (2000)

	Семена	160 мТл, 60 Гц, 1 мин. 0,9 Тл, 30 мин.	Урожайность (+) Ветви (+)	Dayal и Singh (1986)
Томат (Tomato)	Семена	125, 250 мТл	Прорастание (+)	Martinez и др. (2009)
Томат (Tomato)	Вегетирующая часть	10 мТл, магнитная вода	Прорастание (+) Урожайность (+)	Abou El Yozied и др. (2011)
Томат (Solanum Lycopersicum)	Семена Ростки	160 – 200 мТл	Прорастание (+) Влияние на гравитропизм (+) Магнитофоретическая кривизна (+) Увеличение средней массы плода (+) урожайности (+) Снижение степени инфицирования (+)	De Souza и др. (2010) Poinapen и др. (2013) Hasenstein и Kuznetsov (1999) De Souza и др. (2006)
Томат (Solanum tuberosum)	Ростки	4 мТл	Вытеснение амилопласта (+) Рост растений (+) Усиление поглощения CO <sub>2</sub> (+) Порядок липидов (+)	Hasenstein и др. (2013)  Iimoto и др. (1998) Poinapen и др. (2013)
	Проростки			
Картофель (Solanum tuberosum)	Клубни	4 мТл, 20 дн., 25 °С	Рост растения (+) Фотосинтез (+) Живая масса (+)	Iimoto и др. (1996)
		6 мТл, 20 дн., 25 °С	Сухая масса (+) Рост растения (0) Фотосинтез (0) Живая масса (-) Сухая масса (0)	
Пшеница мягкая (Triticum aestivum)	Вегетирующая часть	40 кВт/м, 2 метра над растением	Урожайность (+)	Blackman (1924)
	Семена	0,18 мТл, 240 ч., 23 °С	Скорость прорастания (+) Урожайность (+)	Pittman и Ormrod (1970)
	Вегетирующая часть	0,2 – 0,4 кВт/м, расстояние до линии передач 40, 14, 8, 2 м	Скорость прорастания (+) Урожайность (+)	Soja и др. (2003)
	Семена	7 мТл, 7 дн.	Скорость прорастания (+) Рост растения (+)	Cakmak и др. (2010)
		0,3 Тл магнитная вода	Сухая масса корня (+) Сухая масса растения (+) Скорость прорастания (+/-) Длина стебля (+)	
	Омагниченная вода без		Длина стебля (0) Длина корня (-)	Ijaz и др. (2012)

		спецификации	Длина корня (+) Живая масса (+) Количество белковых полос (+) Скорость прорастания (+) Сухой вес саженца (+)	Almaghrabi и Elbeshehy (2012)
Пшеница мягкая (Common wheat) Водоросли (Algae)	Вегетирующая часть	20 – 215 мТл  20 – 215 мТл	Рост растения (+)  Стимуляция или ингибирование движения цитоплазмы (+)	Sawostin (1930)
Твердая пшеница (Durum wheat)	Семена	15 мТл, 50 Гц	Прорастание (+)	Muszyński и др. (2009)
Пшеница (Wheat)	Семена	30 мТл, 50 Гц	Прорастание (+)	Aksenov и др. (2001)
Пшеница (Wheat)	Семена	30 – 220 мТл	Прорастание (+)	Pietruszewski и др. (2001)
Пшеница мягкая (Triticum aestivum)	Семена	4-7 мТл; 30 мТл	Прорастание (+)	Cakmak и др. (2010)
	Семена, ростки	30 мТл	Вытеснение амилопласта (+) Увеличение каталазы (+) Уменьшение активности пероксидаза (-)	Hasenstein и др. (2013) Payez и др. (2013)
Пшеница, 5 сортов (Wheat, 5 cultivars)	Семена	30 мТл, 50 Гц	Улучшение качества (+)	Pietruszewski и др. (2013)
Пшеница (Wheat)	Семена	10-100 мТл, 50 Гц	Прорастание (+)	Pietruszewski и др. (2001)
Пшеница (Wheat Kharkov 22МС)	Семена	10 мТл	Прорастание (+)	Pittman (1967)
Пшеница (Wheat)	Семена	30 мТл, 50 Гц	Без эффекта (-)	Bujak и Frant (2010)
Пшеница мягкая (Triticum aestivum)	Семена и ростки	От 20 мкТл до 0,1 мТл	Активация сокращения эстераз роста (+)	Bogatina и др. (1978) Aksenov и др. (2000)
Пшеница (Wheat)	Семена	180 мТл	Коэффициент дыхания семян (+)	Pitman и Ormrod (1970)
Кукуруза (Zea mays)	Вегетирующая часть	10 кВт/м, ток на установку 0.075 мА	Урожайность (0)	Collins и др. (1929)

	Семена	125 мТл, 1 ч, 250 мТл, 10 мин.	Скорость прорастания (+) Длина стебля (+) Живая масса (+) Корни (+)	
		5 мТл, 10–200 Гц	Рост растения (+) Живая масса (+)	Muraji и др. (1998)
		10 мТл, 15 мин.	Сухая масса (+) Хлорофилл (+) Длина стебля (+)	Shabrangi и др. (2010)
		100 мТл, 2 ч.	Масса стебля (+)	Anand и др. (2012)
		235 мТл магнитная вода, 24 ч. 0,2 - 0,4 кВт/м	Всхожесть (+)	Mahmood и Usman (2014)
		Расстояние до линии передач 40, 14, 8, 2 м	Урожайность (0)	Soja и др. (2003)
	Семена Ростки	125, 250 мТл 100, 200 мТл	Прорастание (+) Живая масса (+)	Bilalis и др. (2012)
Ростки	100, 200 мТл	Живая масса (+) Вытеснение амилопласта (+) Снижение уровня водорода (+)	Florez и др. (2007) Hasenstein и др. (2013) Anand и др. (2012)	
		Уменьшение антиоксидантных ферментов (+) Содержание хлорофилла (+)	Turker и др. (2007) Javed и др. (2011) Anand и др. (2012)	
Кукуруза (Maize)	Семена, вегетирующая часть	150 мТл	Рост стебля и увеличение прорастания (+)	Aladjadijyan (2007)
	Семена	20, 60 100 мТл, 60 Гц	Положительный эффект в зависимости от сорта (+)	Aguilar и др. (2009)
Кукуруза (Maize)	Семена	480 мТл, 60 Гц	Прорастание (+)	Zepeda-Bautista и др. 2010)
Ячменный солод (Malting barley Ormrod)	Семена	180 мТл	Прорастание (+)	Pitman и Ormrod (1971)
Огурцы (Cucumber)	Семена	7, 10 Тл	Прорастание (+)	Hirota и др. (1999)
Огурец обыкновенный (Cucumis sativus)	Ростки	100 - 250 мТл	Увеличение супероксидных радикалов и H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (+)	Bhardwaj и др. (2012)
Рис (Rice)	Семена	150, 200 мТл	Прорастание (+)	Carbonell и др. (2000)
Рис посевной (Oryza sativa)	Семена	125, 250 мТл	Прорастание семян (-)	Florez и др. (2004)

Продолжение табл. 1

Лук (Onion)	Вегетирующая часть	5 мТл	Увеличение площади листа и содержания белка и хлорофилла (+)	Nowicki и др. (2001)
Белая капуста, лук (White cabbage, onion)	Семена	40, 70, 80, 120 и 210 мТл	Прорастание (+)	Pietruszewski (2002)
Лук (Allium cepa)	Корень и стебель	<ГМПЗ	Уменьшение числа клеток с улучшенным содержанием ДНК (-)	Nanushyan и др. Murashov (2001) Belyavskaya (2004)
Лук-шалот (Allium ascalonicum)	Севок	7 мТл	Повышенное перекисное окисление липидов и уровни H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (+)	Cakmak и др. (2012)
Чечевица (Lentil)	Семена	150 мТл	Прорастание (+)	Aladjadijyan (2010)
Подсолнух (Sunflower)	Семена	250 мТл	Прорастание (+) Урожайность (+)	Vashisth и Nagarajan (2010)
Урд (Black gram)	Семена	60, 16, 168, 200 мТл	Прорастание (+)	Mahajan и Pandey (2011)
		87 – 226 мТл	Прорастание (+)	Mahajan и Pandey (2014)
Шалфей лекарственный (Common sage) Бархатцы (Marigold)	Семена	125 мТл	Прорастание (+)	Florez и др. (2012)
Дуб пробковый (Cork oak)	Вегетирующая часть	15 мкТл, 50 Гц	Прорастание (+)	Celestino и др. (1998)
Кресс-салат (Garden cress)	Семена	100 мкТл, 50 Гц	Рост сеянцев (+)	Guttzeit (2001)
Кресс-салат (Lepidium sativum)	Вегетирующая часть	< ГМПЗ	Отрицательный геотропизм (-)	Kordyum и др. (2005)
Бобы (Broad bean)	Семена	30 мТл, 85 мТл, 50 Гц	Прорастание (+) Урожайность (+)	Polešny и др. (2005)
Сосна (Pine)	Семена	30 - 60 ГГц	Микрофлора семян (+)	Ratushnyak и др. (2008)
Повилика (Dodder)	Семена	0,5 мкТл – 30 мТл	Ингибирование роста (-)	Balonchi и др. (2009)
Амарант (Amaranth)	Семена	30 мТл, 50 Гц, лазер He-Ne	Урожайность (+) Влияние на микроэлементы (+)	Sujak и др. (2009) Sujak и Dziwulska-Hunek (2010)
Картошка (Potato)	Вегетирующая часть	20, 40, 80 мТл, 50 Гц	Урожайность (+)	Marks и Szecówka (2010)
Подорожник средний (Hoary plantains)	Вегетирующая часть	350 → 2000 мТл, 50 Гц	Прорастание (+) Увеличение количества хлорофиллов а и b (+)	Shashurin и др. (2014)
Редис (Radish)	Вегетирующая часть	500 мкТл, 50 Гц	Прорастание (+) Качество ростков (+)	Novitskii и др. (2014)

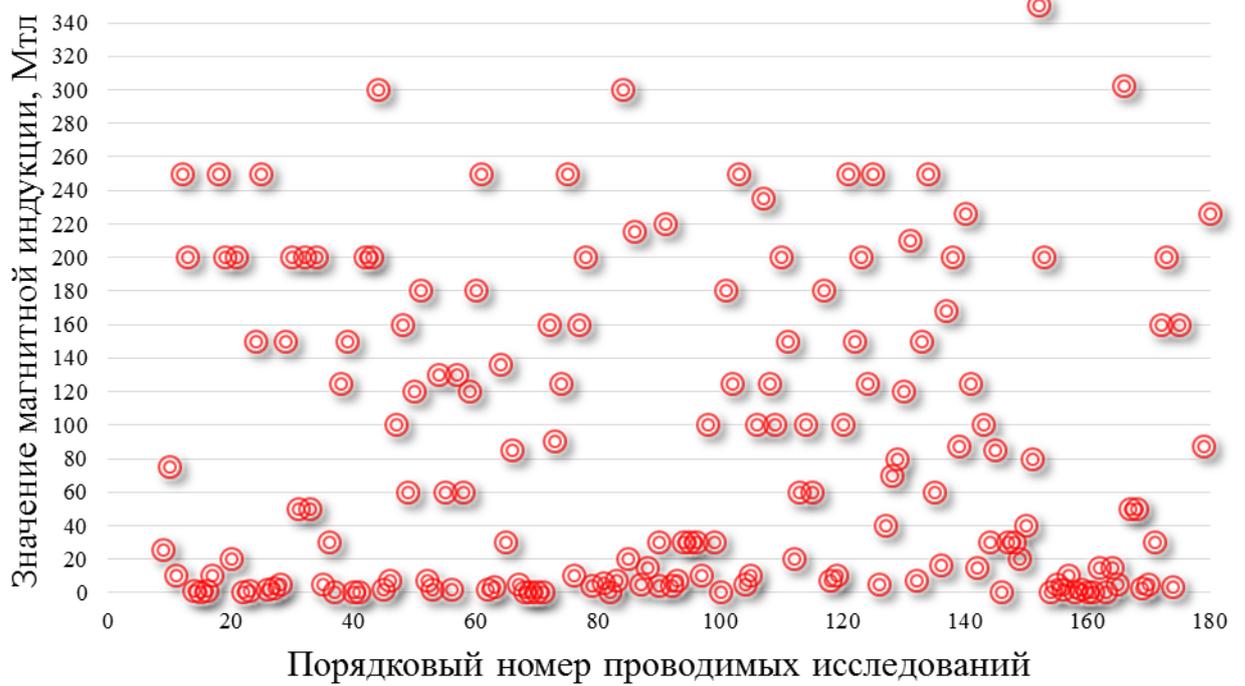
Кофе арабийский (Coffee cv. Arabica)	Ростки, in vitro	5 мТл, 60 Гц	Увеличение количества хлорофиллов а и b (+)	Aleman и др. (2014)
Кофе арабийский (Coffea arabica)	Проросток	2 мТл	Уменьшение активности SOD, CAT и APX (-)	Aleman и др. (2014)
Актинидия деликатесная (Actinidia deliciosa)	Пыльца	10 мкТл	Ca <sup>2+</sup> (+)	Betti и др. (2011)
Резуховидка Таля (Arabidopsis thaliana)	Вегетирующая часть	Близкое к 0 мТл	Репродуктивный рост (+) Задержка цветения (-)	Xu и др. (2012, 2013)
Резуховидка Таля (Arabidopsis thaliana)	Ростки	500 мкТл	Фосфорилирование CRY1 и CRY2 (+) Рост гипокотилия (+) Вытеснение амилопласта (+)	Harris и др. (2009) Xu и др. (2014)
	Каллусные клетки	15 Тл	Диаманитная левитация (+) Протеомические изменения (+) Индукцированная экспрессия трансгена (+)	Weise и др. (2000) Manzano и др. (2013) Herranz и др. (2013) Paul и др. (2006)
Табак обыкновенный (Nicotiana tabacum)	Протопласт	<ГМПЗ	Увеличение количества протопластов (+)	Nedukha и др. (2007)
Паслён (Solanum)	In vitro	<ГМПЗ	Стимуляция / ингибирование роста (+)	Rakosy - Tican и др. (2005)
Боб садовый (Vicia faba)	Корневой чехлик	10 и 100 мкТл	Изменение процессов переноса мембран (+)	Stange и др. (2002)
Боб садовый (Vicia faba)	Проростки	15 мТл	Накопление активных форм кислорода (АФК) (+)	Jouni и др. (2012)
Свекла (Beta vulgaris)	Ростки	5 мТл	Увеличение урожайности корней и листьев (+) Увеличение содержания хлорофилла (+)	Rochalska (2008) Rochalska (2005)
Катарантус розовый (Catharanthus roseus)	Протопласт	302 мТл	Влияние на клеточную стенку (+)	Haneda и др. (2006)
Танцующее растение (Desmodium gyrans)	Листья	50 мТл	Уменьшение ритмических движений листовок (-)	Sharma и др. (2000)
Диоскорея (Dioscorea opposita)	Ростки	2× ГМПЗ	Увеличение длины и количества корней (+)	Li (2000)
Геликс (Helix aspesa)	Ростки	50 Гц	Окислительные реакции (+)	Regoli и др. (2005)

Павловния Форчуна (Paulownia fortunei)	Ткани	2,9 – 4,8 мТл	Повышенне способности к регенерации (+)	Yaucili и Alikamanoglu (2005)
Петрушка (Petroselinum crispum)	Клетки	30 мТл	Эффекты активности САТ и АРХ (+)	Rajabbeigi и др. (2013)
Томат (Solanum lycopersicum)	Семена	160 – 200 мТл	Прорастание (+)	De Souza и др. (2010) Poinapen и др. (2013) De Souza A., Sueiro L., Garcia D., Porras E. (2010).
Тис китайский (Taxus chinensis)	Вегетирующая часть	3,5 мТл	Содержание таксола (+)	Shang и др. (2004)
Традесканция (Tradescantia sp)	Соцветия	0.16, 0.76, 0.78 Тл	Мутация в тычиночных волосковых клетках (-)	Baum и Nauman (1984)
Маш (Vigna radiata)	Семена	от 87 до 226 мТл	Прорастание (+)	Mahajan и Pandey (2014)

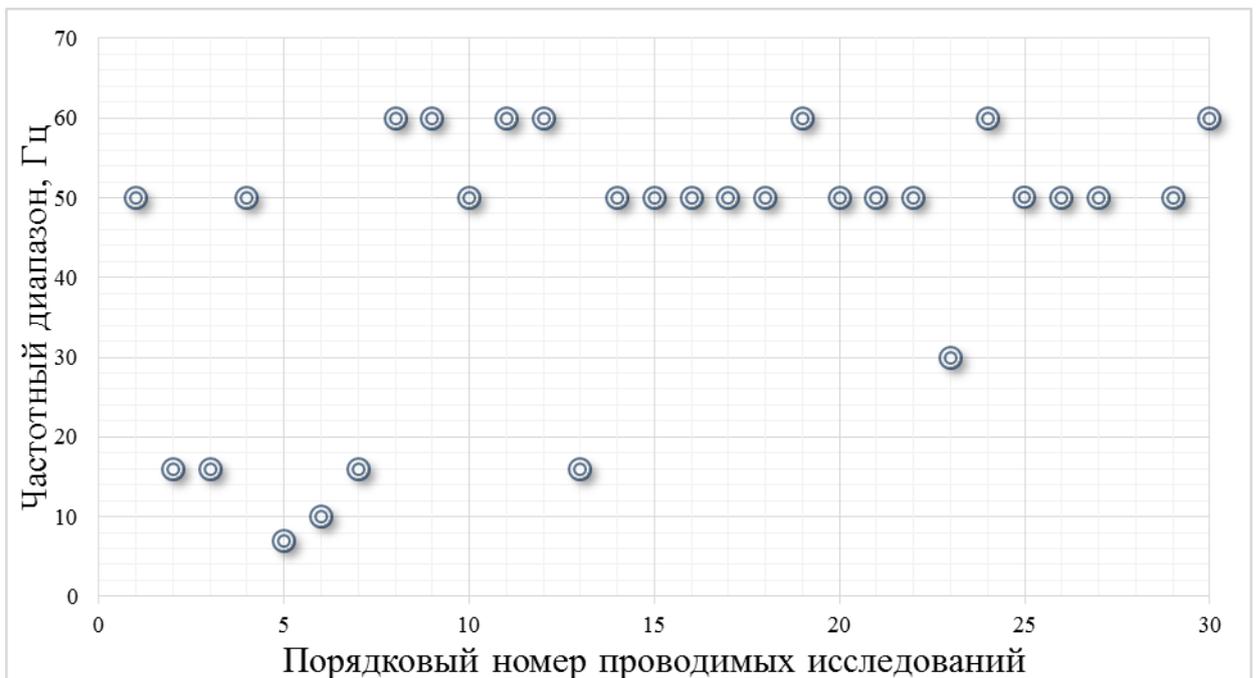
где (0) – эффект не замечен, (+) - положительный эффект, (-) - отрицательный эффект

Анализ проведенных исследований учеными показал, что МП следует рассматривать как абиотический активатор для воздействия на растения, при этом слабые МП в основном оказывают положительное влияние. В результате воздействия на растения МП полем увеличивается всхожесть и энергия прорастания семян, линейные параметры корней и ростков, живая и сухая масса растений, площадь листьев, количество ветвей, содержание хлорофилла и урожайность. Применение омагниченной воды следует рассматривать как косвенное (непрямое) воздействие МП на растения. В результате применения олмагниченной воды на семена и вегетирующие растения увеличивается длина ростков и корней и содержание хлорофилла [27].

Некоторые исследования были посвящены изучению влияния низкочастотного магнитного поля на садовые растения, в том числе земляники. В результате установлено, что обработка низкочастотным магнитным полем малой интенсивности в диапазоне магнитной индукции 0,3-5 мТл стимулирует обменные процессы за счет повышения проницаемости клеточных мембран, улучшения усвояемости веществ и микроэлементов, что позволяет активизировать функциональную активность растений, улучшить качество продукции, повысить урожайность [31-38].



**Рис. 1. Диапазон значений напряженности магнитного поля в исследованиях различных ученых**



**Рис. 2. Частотный диапазон воздействия в исследованиях различных ученых**

Анализ проведенных исследований показал, что биологический эффект от применения электромагнитных полей существенно зависит от направления вектора, амплитуды, частоты, формы и количества магнитных импульсов (время экспозиции), а также от культуры и сорта растений. Выявлены диапазоны

эффективных параметров воздействия электромагнитным полем на растения, построены графики, где точками обозначены параметры обработки растений (диапазон значений магнитной индукции и частоты магнитного поля) в наиболее значимых исследованиях, показывающих положительный эффект (рис. 1,2) [42].

Выявлена неоднозначность влияния электрических и магнитных полей на посевные качества семян зерновых и овощных культур, проростков растений, а также их фотосинтетическую активность на различных стадиях вегетации. Растения обладают высокой чувствительностью к воздействию исследуемых энергетических факторов, параметры которых отличаются физическими свойствами. При этом характер ответной реакции растительного организма весьма сложен, неоднозначен и определяется электрофизическими и экспозиционными параметрами применяемого поля, видовыми и сортовыми особенностями исследуемых культур.

**Выводы и перспективы.** Исследования в области использования электрических и магнитных полей имеют не только научно-технический интерес, но и прикладное значение вследствие возможности использования их для повышения урожайности культуры с одной стороны и снижения химической нагрузки на агроэкосистему за счет отказа или минимизации предпосевного протравливания семян и повышения биологической ценности зернового, кормового и овощного сырья.

### Список литературы

1. Красногорская, Н. В. Электромагнитные поля в биосфере / Н. В. Красногорская // Электромагнитные поля в атмосфере земли и их биологическое значение. – М.: Наука, 1984. – Т.1. – С. 376.
2. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа / А. С. Пресман. – М.: Наука, 1968. – С. 288.
3. Красногорская, Н. В. Электромагнитные поля в биосфере / Н. В. Красногорская // Электромагнитные поля в атмосфере земли и их биологическое значение. – М.: Наука, 1984. – Т.1. – С. 376.
4. Холодов Ю. А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля / Ю. А. Холодов. – М.: Наука, 1975. – С. 207.
5. Павлович Н. В. Биоманнитные ритмы / Н. В. Павлович, С. А. Павлович, Ю. И. Галлиулин. – Минск: Университетское, 1991. –136 с.
6. Богатина Н. И. Влияние постоянных магнитных полей различной направленности на скорость роста проростков пшеницы / Н. И. Богатина, Б. И.

Веркин, В. А. Кордюм // Доклады АН УССР. Серия: Биологическая. – 1978. – № 4. – С. 353-357.

7. Хохлова Н. Ю. Клинические аспекты применения ингибиторной фазы постоянного магнитного поля / Н. Ю. Хохлова, Л. А. Труфанов, Е. Л. Овчинников, И. В. Терехова // Сб. трудов Четвертой Всерос. науч.-практ. конфер. по квантовой тер. – М.: ПКП ГИТ, 1998. – С. 29.

8. Анастасова Л. П. Растения и окружающая среда / Л. П. Анастасова // Учебное пособие. – М.: РИНО, 1999. – 127 с.

9. Козырский В. В. Влияние предпосевной обработки в магнитном поле на посевные качества семян сельскохозяйственных культур / В. В. Козырский, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2(27). – С. 132-136.

10. Gotlieb N. D. Magnetic Field effects on the compass mechanism and activity level of the snail *Helisoma duryiediscus* / N. D. Gotlieb, W. E. Caldwell // J. Genetic Psychology. – V. 11. – First half. – 1967. – P. 85.

11. Palmer J. D. Organismic spatial orientation is very weak magnetic fields / J. D. Palmer // Nature. – 1963. – № 4885. – 1061 pp.

12. Pang X. F. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field / X. F. Pang, B. Deng // Sci. China, Ser. G-Phys. Mech. – 2008. – P. 1621–1632.

13. Vashisth A. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field / A. Vashisth, S. Nagarajan // J. Plant Physiol. № 167. – P. 149–156.

14. Jaleel C. A. Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on *Catharanthus roseus* by improving antioxidant status / C. A. Jaleel, R. Gopi, P. Manivannan, M. Gomathinayagam, P.V. Murali, R. Panneerselvam // Pestic. Biochem. Phys. – 2008. – № 90. – P. 135-139.

15. Smith S. D. Effects of CR-tuned 60 Hz magnetic fields on sprouting and early growth of *Raphanus sativus* / S. D. Smith, B. R. Mcleod, A. R. Liboff // Bioelectrochem Bioenerg. – 1993. – № 32. – P. 67-76.

16. Zhang H. Effect of high electric fields on the germination and early growth of some vegetable seeds / H. Zhang, F. Hashinaga // J. Jpn. Soc. Hort. Sci. – 1997. № 66. – P. 347-352.

17. Xia L. Effect of magnetic field on peroxidase activation and isozyme in *Leymus chinensis*. / L. Xia, J. Guo // Chin. J. Appl. Ecol. – 2000. – №11. – P. 699-702.

18. Florez M. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth / M. Florez, M.V. Carbonell, E. Martinez // Environ. Exp. Bot. – 2007. – № 59. – P. 68-75.

19. Reinke J. Untersuchungen der Wachstrum. Botan. Ztg. 34, 129. / J. Reinke // Biological Effect on Magnetic Fields (Ed. M.F. Barnothy). Plenum Press. – 1876. – №1. – P. 183-195.

20. Tolomei G. Anzione del magnetismo sulla germinazione. Malpighia, 7, 470. / G. Tolomei // In: Biological Effect on Magnetic Fields (Ed. M.F. Barnothy). Plenum Press. – 1893. – № 1. P. 183-195.

21. Danilewski W.J. Studies on the influence of electricity on physiology of plants (in Polish). / W.J. Danilewski // Electromagnetic fields and living nature (Ed. A.S. Presman). – 1971. – PWN, Warsaw, Poland.

22. Audus L.J. Magnetotropism: A new plant growth response. / L.J. Audus // Nature. – 1960. – № 185. – P. 132-134.
23. Pittman U.J. Magnetism and plant growth: I Effect of germination and early growth of cereals seeds / U.J. Pitman // Can. J. Plant Sci. – 1963. – 43. – P. 513-518.
24. Barnothy M.F. Biological Effect on Magnetic Fields / M. F. Barnothy et al. // Plenum Press. – 1969. – New York-London.
25. Presman A. S. Electromagnetic Fields and Living Nature (in Polish) / A. S. Presman et al. – 1971. – PWN, Warsaw, Poland.
26. Rochalska M. Influence of frequent magnetic field on chlorophyll content in leaves of sugar beet plants / M. Rochalska // Nukleonika. – 2005. – № 50. – P. 25-28.
27. Новицкий Ю. И. Реакции растений на магнитные поля / Ю. И. Новицкий // Реакции биологических систем на магнитные поля. – М.: Наука, 1978. – С. 117-130.
28. Крылов А. В. Явление магнитотропизма у растений и его природа, «Физиология растений» / А. В. Крылов, Г. А. Тараканова. – 1960, Т. 7, В. 2, – С. 191-97.
29. Presman A. S. Electromagnetic Fields and Living Nature (in Polish) / A. S. Presman et al. – 1971. – PWN, Warsaw, Poland.
30. Cholodov J. A. Reaction of Biological Systems on Magnetic Field (in Russian). – 1978. – Nauka, Moscow.
31. Кутырёв А. И. Обоснование параметров автоматизированного навесного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники садовой: дисс. канд. технических наук : 05.20.01 / Кутырёв Алексей Игоревич. – М.: 2019. – 210 с.
32. Кутырёв А. И. Обоснование параметров аппарата для магнитно-импульсной обработки растений / А. И. Кутырёв, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – Т. 1. – № 41. – С. 32-38.
33. Хорт Д. О. Разработка аппарата для магнитно-импульсной обработки растений / Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов, А. И. Кутырёв // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 1 (22). – С. 50-55.
34. Izmailov A. Y. Magnetic-pulse processing of seeds of berry crops / A. Y. Izmailov, I. G. Smirnov, D. O. Khort, R. A. Filippov, A.I. Kutyrev // Research in Agricultural Engineering. – 2018. – Т. 64. – № 4. – С. 181-186.
35. Smirnov I. G. Factor analysis of irradiation of the strawberries (fragaria × ananassa) seeds pulsed low-frequency magnetic field / I. G. Smirnov, D. O. Khort, R. A. Filippov, A. I. Kutyrev // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2019. – Т. 89. – № 5. – С. 113-118.
36. Смирнов И. Г. Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов, А. И. Кутырёв, А. А. Артюшин // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 624-642.
37. Донецких В. И. Изучение влияния магнитных импульсов на землянику садовую / В.И. Донецких // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 41. – С. 113-117.
38. Esitken A. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (Fragaria x ananassa cv. Camarosa). / A. Esitken, M. Turan // Acta Agric. Scand. – 2004. – В-S P 54. – P. 135-139.

39. Lynikiene S. Effect of electrical field on barley seed germination stimulation / S. Lynikiene, A. Pozeliene // *Agric. Eng. Intern.* – 2003. (August) – FP. 03. – 007.
40. Mroczek-Zdyrska M. Influence of magnetic field stimulation on the growth and biochemical parameters on *Phaseolus vulgaris* L. J. / M. Mroczek-Zdyrska, Ł. Tryniecki, K. Kornarzyński, S. Pietruszewski, M. Gagoś // *Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* – 2016. – № 5. – P. 548-551.
41. Барышев М. Г. Исследование влияния низкочастотного электромагнитного поля на биологические объекты / М. Г. Барышев, С. С. Джимак. – Краснодар: Кубанский гос. Ун-т, 2012. – С. 1-15.
42. Кутырев А.И. Обоснование параметров автоматизированного навесного агрегата для магнитно-импульсной обработки земляники садовой: / дисс. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.И. Кутырев. – ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, – 2019. – 210 с.
43. Савченко В. В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / Савченко В. В., Синявский А. Ю. // *Вестник ВИЭСХ.* – 2013. – № 2 (11). – С. 33-37.
44. Козырский В. В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / Козырский В. В., Савченко В. В., Синявский А. Ю. // *Вестник ВИЭСХ.* – 2014. – № 2 (15). – С. 16-19.

### References

1. Krasnogorskaya, N. V. (1984). Electromagnetic fields in the biosphere. Electromagnetic fields in the earth's atmosphere and their biological significance. МЩЫЛЩ: Science, 1, 376.
2. Presman, A. S. (1968). Electromagnetic fields and living nature. Moscow: Science, 288.
3. Krasnogorskaya, N. V. (1984). Electromagnetic fields in the biosphere. Electromagnetic fields in the earth's atmosphere and their biological significance. МЩЫЛЩ: Science, 1, 376.
4. Kholodov, Yu. (1975). A. reactions of the nervous system to electromagnetic fields. Moscow: Science, 207.
5. Pavlovich, N. V, Pavlovich, S. A., Pavlovich, Yu..(1991). Biomagnetic rhythms. Minsk: Universitetskoe, 136.
6. Bogatina, N. I., Verkin, B. I., Kordyum, V. A. (1978). The Influence of constant magnetic fields of different directions on the growth rate of wheat seedlings. Reports of the USSR Academy of Sciences. Series: Biological, 4, 353-357.
7. Khokhlova, N. Yu., Trufanov, L. A., Ovchinnikov, E. L., Terekhova, I. V. (1998). Clinical aspects of the use of the inhibitory phase of a constant magnetic field. Proceedings of the Fourth vseros. sci.- prakt. confer. by quantum Ter. Moscow: PKP GIT, 29.
8. Anastasova, L. P. (1999). Plants and the environment. Moscow: RINO, 127.
9. Kozyrsky V. V., Savchenko, V. V., Sinyavsky A. Yu. (2017). The Influence of pre-sowing treatment in a magnetic field on the sowing qualities of seeds of agricultural crops. *Vestnik Resch*, 2 (27), 132-136.

10. Gotlieb, N. D., Caldwell, W. E. (1967). Magnetic Field effects on the compass mechanism and activity level of the snail *Helisoma duryiediscus*. *J. Genetic Psychology*, 11, First half, 85.
11. Palmer, J. D. (1963). Organizational spatial orientation is very weak magnetic fields. *Nature*, 4885, 1061.
12. Pang, X. F., Deng, B. (2008). Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Sci. China, Ser. G-Phys. Mech.*, 1621-1632.
13. Vashisth, A., Nagarajan, S. (2015). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *J. Plant Physiol*, 167, 149-156.
14. Jaleel, C. A., Gopi, R., Manivannan, P., Gomathinayagam, M., Murali, P. V., Panneerselvam, R. (2008). Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on *Catharanthus roseus* by improving antioxidant status. *Pestic. Biochem. Phys.*, 90, 135-139.
15. Smith, S. D., Mcleod, B. R., Liboff, A. R. (1993). Effects of CR-tuned 60 Hz magnetic fields on sprouting and early growth of *Raphanus sativus*. *Bioelectrochem Bioenerg*, 32, 67-76.
16. Zhang, H., Hashinaga F. (1997). Effect of high electric fields on the germination and early growth of some vegetable seeds. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 66, 347-352.
17. Xia, L., Guo, J. (2000). Effect of magnetic field on peroxidase activation and isozyme in *Leymus chinensis*, 11, 699-702.
18. Florez, M., Carbonell, M. V., Martinez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth, 59, 68-75.
19. Reinke, J. (1876). *Untersuchungen der Wachstrum*. *Botan. Ztg.* 34, 129. *Biological Effect on Magnetic Fields* (Ed. M. F. Barnothy). Plenum Press, 1, 183-195.
20. Tolomei, G. (1893). *Anzione del magnetismo sulla germinazione*. *Malpighia*, 7, 470. *Biological Effect on Magnetic Fields* (Ed. M. F. Barnothy). Plenum Press, 1, 183-195.
21. Danilewski, W. J. (1971). *Studies on the influence of electricity on physiology of plants* *Electromagnetic fields and living nature* (Ed. A. S. Presman). PWN, Warsaw, Poland.
22. Audus, L. J. (1960). Magnetotropism: A new plant growth response. *Nature*, 185, 132-134.
23. Pittman, U. J. (1963). Magnetism and plant growth: I Effect of germination and early growth of cereals seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 43, P. 513-518.
24. Barnothy, M. F. et al. (1969). *Biological Effect on Magnetic Fields*. Plenum Press. New York-London.
25. Presman, A. S. et al. (1971). *Electromagnetic Fields and Living Nature*. PWN, Warsaw, Poland.
26. Rochalska, M. (2005). Influence of frequent magnetic field on chlorophyll content in leaves of sugar beet plants. *Nukleonika*, 50, 25-28.
27. Novitsky, Yu. I. (1978). *Plant Reactions to magnetic fields*. *Reactions of biological systems to magnetic fields*. Moskow: Nauka, 117-130.
28. Krylov, A.V., Tarakanova, G. F. (1960). The Phenomenon of magnetotropism in plants and its nature, "Physiologiyarasteniy" , 7 (2), 191-97.

29. Presman, A. S. et al. (1971). *Electromagnetic Fields and Living Nature*. PWN, Warsaw, Poland.
30. Cholodov, J. A. (1978). *Reaction of Biological Systems on Magnetic Field* Moscow: Nauka.
31. Kutyrev, A. I. (2019). *Substantiation of the parameters of the automated attachment Assembly for magnetic-pulse processing of strawberries: Diss. kand. technical Sciences: 05.20.01. Moscow, 210.*
32. Kutyrev, A. I., Hort, D. O., Filippov, R. A. (2018). *Substantiation of parameters of the apparatus for magnetic pulse treatment of plants. Bulletin of agrarian science of the Don, 1 (41), 32-38.*
33. Hort, D. O., Filippov, R. A., Kutyrev, A. I. (2017). *Development of apparatus for magnetic pulse treatment of plants. Innovations in agriculture, 1 (22), 50-55.*
34. Izmailov, A. Y., Smirnov, I. G., Khort, D. O., Filippov, R. A., Kutyrev, A. I. (2018). *Magnetic-pulse processing of seeds of berry crops Research in Agricultural Engineering, 64 (4), 181-186.*
35. Smirnov, I. G., Khort, D. O., Filippov, R. A., Kutyrev, A. I. (2019). *Factor analysis of irradiation of the strawberries (*fragaria* × *ananassa*) seeds pulsed low-frequency magnetic field. Indian Journal of Agricultural Sciences, 89, 5, 113-118.*
36. Smirnov, I. G., Khort, D. O., Filippov, R. A., Kutyrev, A. I., Artyushin, A. A. (2018). *Automated unit for magnetic pulse treatment of plants in horticulture. Bulletin of the Mordovian University, 28 (4), 624-642.*
37. Donetskikh, V. I. (2015). *Study of the influence of magnetic pulses on strawberry. Fruit and berry growing in Russia, 41, 113-117.*
38. Esitken, A., Turan, M. (2004). *Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria* x *ananassa* cv. Camarosa). Acta Agric. Scand, B-S P 54, 135-139.*
39. Lynikiene, S., Pozeliene, A. (2003). *Effect of electrical field on barley seed germination stimulation. Agric. Eng. Intern., August 2003, FP. 03. - 007.*
40. Mroczek-Zdyrska, M., Tryniecki, L., Kornarzyński, K., Pietruszewski, S., Gagoś, M. (2016). *Influence of magnetic field stimulation on the growth and biochemical parameters on *Phaseolus vulgaris* L. J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci., 5, 548-551.*
41. Baryshev, M. G., Jimak, S. S. (2012). *Investigation of the influence of low-frequency electromagnetic field on biological objects. Krasnodar: Kuban state University, 1-15.*
42. Kutyrev, A. I. (2019). *Substantiation parameters of the automated hinged unit for magnetic pulse processing of strawberry: / Diss. kand. Techn. Sciences: 05.20.01. FSAC VIM, Moscow, 210.*
43. Savchenko, V. V., Sinyavsky A. Yu. (2013). *Change of biopotential and yield of agricultural crops at pre-sowing seed treatment in a magnetic field. Vestnik of Resch., 2 (11), 33-37.*
44. Kozyrsky, V. V., Savchenko, V. V., Sinyavsky, A. Yu. (2014). *The Influence of the magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of agricultural seeds. Vestnik Resch., 2 (15), 16-19.*

## **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ НА РОСЛИНИ**

*Д. О. Хорт, Р. О. Філіппов, А. І. Кутирьов*

**Анотація.** Метою дослідження був аналіз впливу електричних і магнітних полів на рослини і виявлення діапазону ефективних параметрів впливу.

У статті представлені результати аналізу впливу електричних і магнітних полів на рослини. Наведено реакції рослин на слабкі та сильні електричні поля. Виявлено діапазони ефективних параметрів впливу на рослини. Аналіз проведених досліджень вченими показав, що електромагнітне поле слід розглядати як абіотичний активатор для впливу на рослини, при цьому слабкі електромагнітні поля в основному здійснюють позитивний вплив. У результаті впливу на рослини електромагнітними полем збільшується схожість та енергія проростання насіння, лінійні параметри коренів і паростків, жива і суха маса рослин, площа листя, кількість гілок, вміст хлорофілу і врожайність. Біологічний ефект від застосування електромагнітних полів істотно залежить від напрямку вектора, амплітуди, частоти, форми і кількості магнітних імпульсів (час експозиції), а також від культури і сорту рослин.

Дослідження в області використання електричних і магнітних полів мають не тільки науково-технічний інтерес, а й прикладне значення внаслідок можливості використання їх для підвищення врожайності культури з одного боку і зниження хімічного навантаження на агроecosystem за рахунок відмови або мінімізації передпосівного протруювання насіння і підвищення біологічної цінності зернової, кормової і овочевої сировини.

**Ключові слова:** електрофізичні впливи, електромагнітне поле, стимуляція росту рослин, абіотичні фактори

### **STUDY OF THE EFFECT OF ELECTRIC FIELDS ON PLANTS**

*D. Khort, R. Filippov, A. Kutyrev*

**Abstract.** The aim of the study was to analyze the effect of electric and magnetic fields on plants and to identify ranges of effective exposure parameters.

The article presents the results of the analysis of the influence of electric and magnetic fields on plants. The reactions of plants to weak and strong electric fields are given. Ranges of effective parameters of MP influence on plants are revealed. The analysis of the conducted researches of scientists has shown that the electromagnetic field should be considered as an abiotic activator for influence on plants, thus weak magnetic fields generally have positive influence. As a result of electromagnetic field influence on plants, germination and seed germination energy, linear parameters of roots and sprouts, live and dry mass of plants, leaf area, number of branches, chlorophyll content and yield are increased. The biological effect of the application of electromagnetic fields depends significantly on the direction of the vector, amplitude, frequency, shape and number of magnetic pulses (exposure time), as well as on the culture and variety of plants.

Research in the use of electric and magnetic fields is of not only scientific and technical interest, but also of practical importance due to the possibility of using them to increase crop yields on the one hand and reduce the chemical load on the agroecosystem due to the failure or minimization of pre-sowing seed dressing and increasing the biological value of grain, fodder and vegetable raw materials.

**Key words:** electrophysical effects, electromagnetic field, stimulation of plant growth, abiotic factors