

Вадим Игоревич Полонский

Красноярский государственный аграрный университет, профессор кафедры ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии, доктор биологических наук, профессор, Россия, Красноярск

E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Анатолий Владимирович Чжан

Красноярский государственный аграрный университет, заведующий кафедрой физики, доктор физико-математических наук, профессор, Россия, Красноярск

E-mail: avchz@mail.ru

Стелла Дмитриевна Сакаш

Красноярский государственный аграрный университет, старший лаборант кафедры физики, Россия, Красноярск

E-mail: ssakash@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Цель исследования – анализ влияния электромагнитного поля низкой частоты линии электропередачи с электрическим напряжением 500 кВ на ростовые показатели проростков. Объектом исследования служила мягкая яровая пшеница сорта Красноярская 12. Полевые эксперименты проведены в районе пос. Дрокино Емельяновского района Красноярского края в течение июля-августа 2019 г. Повторность в каждом варианте 4-кратная. Опыты повторены 3 раза. Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали, используя t-критерий Стьюдента при $p \leq 0,05$. Семена пшеницы сорта Красноярская 12 раскладывали по 50 шт. в чашки Петри, в которые добавляли 10 мл воды. В полевых экспериментах замоченные семена размещали непосредственно под линией ЛЭП-500 (опыт) и на расстоянии около 100 м от нее (контроль). В возрасте 7 сут подсчитывали долю проросших семян, измеряли длину 1-го листа, свежую массу надземной части и корней. Вычисляли распределение проростков по длине 1-го листа в каждом варианте опыта. Согласно выполненным измерениям, величина магнитной индукции под ЛЭП-500 составляла около 50 мГс и снижалась почти до нуля на расстоянии от нее более 70 м. Влияние электромагнитного поля, имеющего такое значение магнитной индукции, на всхожесть семян, величину надземной части биомассы и корней, длину 1-го листа проростков статистически доказано не было. При этом под действием электромагнитного поля наблюдалась тенденция к снижению доли проростков, имеющих размеры выше средних, и повышение доли проростков, имеющих длину ниже средней. Предполагается, что на ранних этапах развития пшеницы низкочастотное электромагнитное поле, создаваемое ЛЭП-500, не является для растений существенным негативным фактором.

Ключевые слова: ЛЭП-500, электромагнитное поле, проростки пшеницы, всхожесть, масса побегов и корней, длина 1-го листа проростков.

Vadim I. Polonsky

Krasnoyarsk State Agrarian University, professor of the chair of landscape architecture, botany, agroecology, doctor of biological sciences, professor, Russia, Krasnoyarsk

E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Anatoly V. Chzhang

Krasnoyarsk State Agrarian University, head of the chair of physics, doctor of physical and mathematical sciences, professor, Russia, Krasnoyarsk

E-mail: avchz@mail.ru

Stella D. Sakash

Krasnoyarsk State Agrarian University, senior laboratory assistant of the chair of physics, Russia, Krasnoyarsk

E-mail: ssakash@yandex.ru

THE INFLUENCE OF LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE GROWTH INDICATORS OF WHEAT SEEDLINGS

The aim of the study was to analyze the influence of the low frequency electromagnetic field of the power transmission line with an electric voltage of 500 kV on the growth indicators of seedlings. As the object of the research the soft spring-sown wheat of the variety Krasnoyarskaya 12 served. Field experiments were made near the settlement of Drokino of the Emelyanovo area of Krasnoyarsk Region within July-August, 2019. The frequency in each option was 4-fold. The experiments were repeated 3 times. Statistical processing of the obtained data was carried out by the standard methods by means of the standard computer Microsoft Excel programs. The reliability of the results was estimated, using Student's t-criterion at $p \leq 0.05$. Variety wheat seeds Krasnoyarskaya 12 displayed on 50 pieces in Petri's dishes to which 10 ml of water were added. In field experiments the wetted seeds placed directly under the power line-500 (experiment) and at the distance about 100 m from it (control). At the age of 7 days the share of sprouted seeds was counted, the length of the 1-st leaf, fresh mass of elevated part and roots were measured. The distribution of the seedlings on the length of the 1-st leaf in each option of experiment was calculated. According to the executed measurements, the size of magnetic induction under the power line-500 made about 50 MGs and decreased almost to zero at the distance from it more than 70 m. The influence of electromagnetic field having such value of magnetic induction on the viability of seeds, the size of elevated part of biomass and roots, the length of the 1-st leaf of seedlings has not been statistically proven. At the same time, under the influence of electromagnetic field, there was a tendency to reduce the proportion of seedlings with sizes above average. At the early stages of wheat development, the low-frequency electromagnetic field created by the power line-500 is not supposed to be significant negative factor for the plants.

Keywords: power line 500, electromagnetic field, wheat seedlings, germination, fresh mass of shoots and roots, length of the 1-st leaf of seedlings.

Введение. Сегодня в окружающей среде существует множество искусственных источников электромагнитных полей, как высокочастотных, так и низкочастотных. Последние главным образом связаны с электроэнергетическими системами (линиями электропередачи и силовым оборудованием), которые в основном работают на частоте 50–60 Гц. Воздействие этого физического фактора на растения в общих чертах известно [1]. С одной стороны, электромагнитное загрязнение среды способно вызывать негативные изменения физиолого-биохимических и генетических характеристик растений [2, 3], повышать величину асимметрии листьев [4, 5], отрицательно воздействовать на урожайность зерновых культур [6]. С другой стороны, установлено, что применение переменного

электромагнитного поля промышленной частоты может улучшить физиологические показатели растений [7].

Обычно высоковольтные линии электропередачи размещаются в условиях природных ландшафтов, в том числе они проходят по сельскохозяйственным полям. В настоящее время лишь единичные работы посвящены влиянию электромагнитного поля промышленной частоты на зерновые культуры в реальных полевых условиях [8].

Известно, что при воздействии электромагнитного поля на растения наблюдается весьма орщутимое влияние процессы их начального роста [9].

Цель исследования: анализ влияния электромагнитного поля низкой частоты на ростовые показатели проростков пшеницы.

Объект и методы исследования. Объектом исследования служила мягкая яровая пшеница сорта Красноярская 12, семена которой были предоставлены сотрудниками Института сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН. Семена раскладывали по 50 шт. в чашки Петри, в которые добавляли 10 мл воды. В полевых условиях в опытном варианте чашки с замоченными семенами пшеницы размещали на земле непосредственно под высоковольтной линией электропередачи с электрическим напряжением 500 кВ (ЛЭП-500). В контроле они находились на расстоянии от нее около 100 м. Чашки помещали в небольшое углубление в земле на полиэтиленовую пленку, сверху их покрывали пленкой и 2–3 см слоем земли.

В возрасте 7 сут подсчитывали долю проросших семян, а также измеряли длину 1-го листа, свежую массу надземной части и корней. Вычисляли относительное распределение семян по длине 1-го листа по вариантам опыта. Для этого массив данных разбивали на 12 классов, в каждом из которых на длину 1-го листа приходилось 10 мм. Величину магнитной индукции на разных расстояниях от ЛЭП измеряли с помощью измерителя магнитной индукции электромагнитного поля в низкочастотном диапазоне ТМ-192D и строили соответствующую зависимость.

Полевые эксперименты проведены в районе пос. Дрокино Емельяновского района Красноярского края в течение июля-августа 2019 г. Повторность в каждом варианте – 4-кратная. Опыты повторены 3 раза.

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами с помощью

стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали, используя t-критерий Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунке 1 представлена зависимость составляющих магнитной индукции (B_x , B_y и B_z) вдоль трех выделенных направлений относительно направления ОХ, как показано на верхней части рисунка 1. Можно видеть, что наименьшее значение имеет составляющая B_y . Составляющие B_x и B_z достигают экстремумов в области наименьших расстояний от проводов и резко уменьшаются с увеличением расстояния по оси ОХ. Суммарная величина индукции магнитного поля в каждой точке x – координаты будет определяться модулем B :

$$B = [(B_x)^2 + (B_y)^2 + (B_z)^2]^{1/2}.$$

Из полученных данных можно установить, что максимальная величина магнитной индукции достигает ~50 мГс под проводниками, а на расстояниях, превышающих 70–80 м от них, уменьшается практически до нулевых значений.

В таблице представлены характеристики 7-суточных проростков пшеницы при круглосуточном действии на них низкочастотного электромагнитного поля, создаваемого ЛЭП-500 (опыт), или без такового (контроль). Можно видеть отсутствие статистически доказанного влияния данного физического фактора на всхожесть семян, величину надземной части биомассы и корней, а также длину 1-го листа 7-суточных проростков. Следует тем не менее отметить тенденцию к снижению почти всех ростовых показателей пшеницы в рассматриваемом варианте опыта по сравнению с контролем.

Влияние электромагнитного поля ЛЭП 500 на ростовые показатели 7-суточных проростков пшеницы Красноярская 12

Вариант опыта**	Доля проросших семян, %	Длина 1-го листа, мм	Свежая масса, мг	
			надземной части	корней
Контроль	81,5±4,0 а*	73,4±1,1 а	44,9±1,8 а	54,1±1,6 а
Опыт	81,2±2,2 а	71,9±1,0 а	45,5±2,2 а	51,1±1,8 а

*Средняя арифметическая величина и ошибка средней; значения в строках с одинаковыми буквами в пределах каждой колонки не различаются существенно между собой по t-критерию при $p \leq 0,05$.

**Контроль – прорастающие семена находятся в 100 м от ЛЭП; опыт – прорастающие семена непосредственно под ЛЭП.

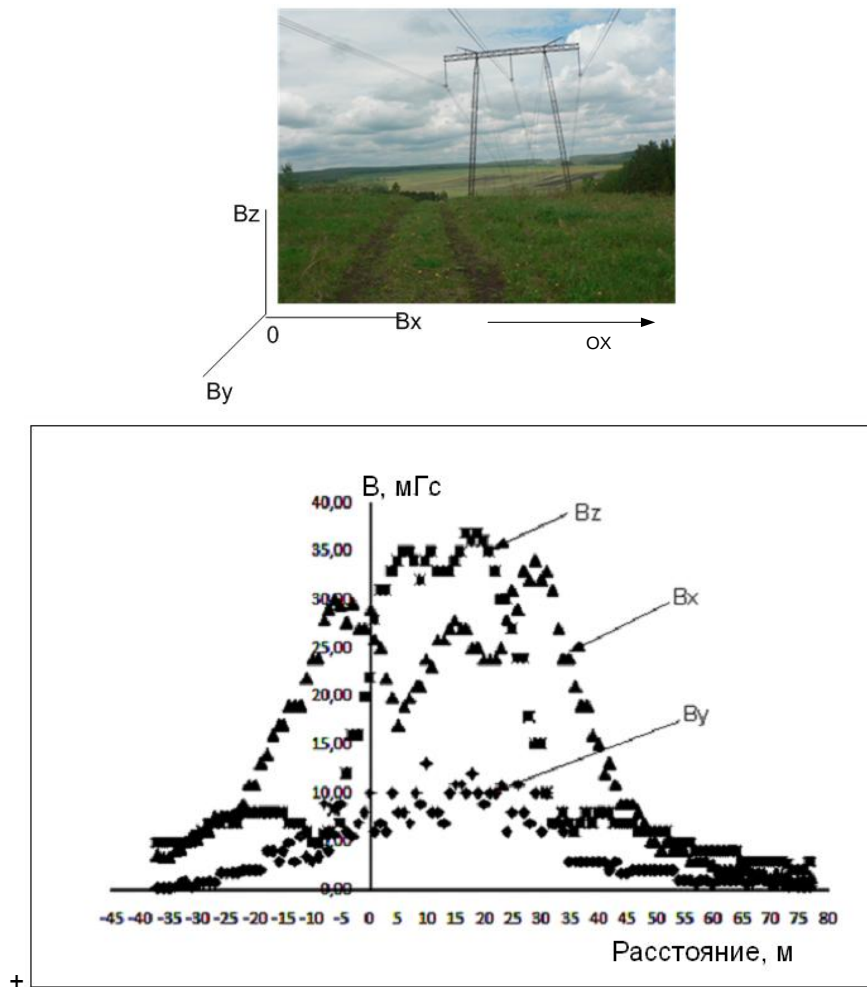


Рис. 1. Распределение составляющих магнитной индукции магнитного поля в области ЛЭП-500 (направления осей координат показаны на верхней части рисунка)

На рисунке 2 представлено относительное распределение проростков пшеницы по длине первого листа, находившихся в течение 7 сут в условиях рассмотренного выше опыта либо контроля. Можно видеть, что в контрольном варианте на кривой имеются два максимума, первый расположен в области ниже, а второй – в области выше средних размеров 1-го листа (соответственно, классы 4 и 9). Такой вид данной зависимости может означать неоднородность сорта пшеницы Красноярская 12 и существование в нем двух фенотипически (и, вероятно, генотипически) различающихся популяций. В опыте сохраняется наличие двух вершин на кривой, но указанные популяции реагируют на низко-

частотное электромагнитное поле по-разному. С одной стороны, происходит снижение доли проростков, имеющих размеры выше средних (в основном переход из класса 9 в класс 6), с другой – повышение доли малоразмерных проростков (переход из класса 4 в класс 6). Другими словами, под действием рассматриваемого физического фактора у максимально развитых проростков наблюдается заметная тенденция к ингибированию ростовых процессов, а у слабо-развитых – тенденция к их стимуляции. Отметим, что при этом средняя длина 1-го листа у рассматриваемых вариантов между собой мало отличается (см. табл.).

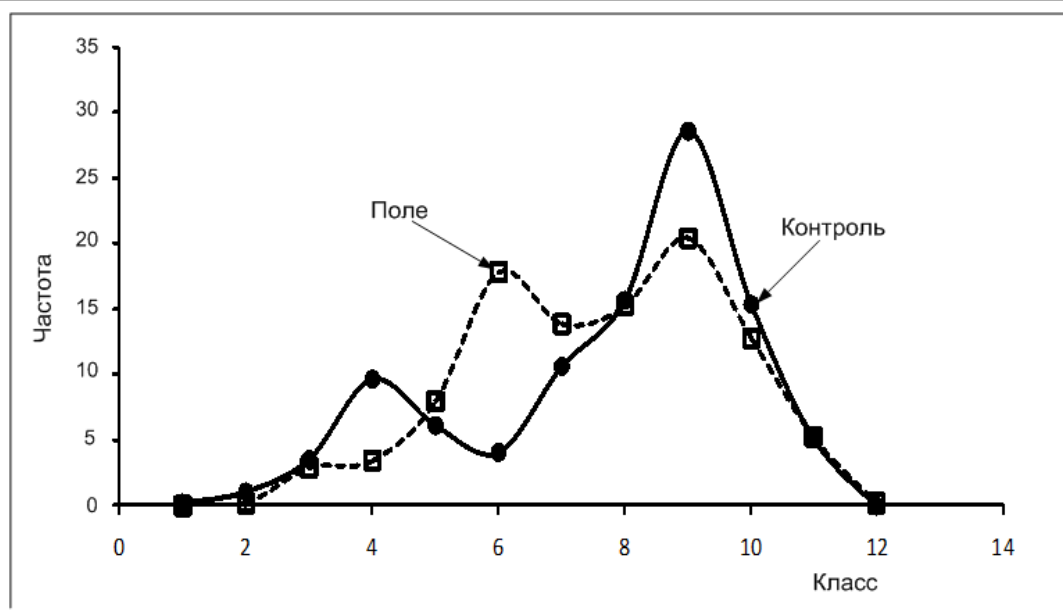


Рис. 2. Относительное распределение 7-суточных проростков пшеницы Красная 12 по интервалам длин 1-го листа при нахождении под ЛЭП- 500 (опыт) или в 100 м от нее (контроль). Интервалы длин 1-го листа проростков соответствуют классам: 1–10 мм (1 класс), 11–20 мм (2 класс), 21–30 мм (3 класс) и т. д. По оси ординат – доля проростков в соответствующих классах, %

В противоположность полученным в настоящем исследовании результатам отсутствия существенного воздействия низкочастотного электромагнитного поля на средние ростовые показатели молодых растений пшеницы в литературе установлено как положительное, так и отрицательное влияние этого физического фактора. С одной стороны, найдено повышение всхожести, увеличение сырой массы корней и длины 7-дневных проростков ячменя [10, 11], с другой – продемонстрировано уменьшение роста корней у растений гороха и бобов [12, 13].

Выводы

1. Величина магнитной индукции под ЛЭП-500 составляет около 50 мГс и снижается почти до нуля на расстоянии от нее более 70–80 м.
2. Влияние электромагнитного поля, имеющего значение магнитной индукции 50 мГс, на всхожесть семян пшеницы, величину надземной части биомассы и корней, а также длину 1-го листа 7-суточных проростков статистически не доказано. При этом под действием электромагнитного поля наблюдается тенденция к снижению доли максимально развитых проростков и повышение доли слаборазвитых.

3. На ранних этапах развития пшеницы низкочастотное электромагнитное поле, создаваемое ЛЭП 500, не является для растений существенным негативным фактором.

Литература

1. Silva J.A.T., Dobránszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // *Protoplasma*. 2015. № 5. P. 1–18.
2. Шашурин М.М., Прокопьев И.А., Шеин А.А. и др. Ответная реакция подорожника среднего на действие электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) // *Физиология растений*. 2014. Т. 61, № 4. С. 517–524.
3. Fatigoni C., Dominici L., Moretti M., Villarini M., Monarca S. Genotoxic effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields (MF) evaluated by the Tradescantia-micronucleus assay // *Environmental Toxicology*. 2005. Vol. 20, № 6. P. 585–591.
4. Полонский В.И. Влияние линий электропередачи на флуктуирующую асимметрию козьеи // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 6. С. 234–238.
5. Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние линий электропередачи на флуктуирующую

- асимметрию древесных растений // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26, Вып. 4. С. 441–448.
6. Soja G., Kunsch B., Gerzabek M., Reichenauer T., Soja A.-M., Rippa G., Bolhàr-Nordenkamp H.R. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line // Bioelectromagnetics. 2003. Vol. 24. № 2. P. 91–102.
 7. Alemán E.I., Moreira R.O., Lima A.A., Silva S.C., González-Olmedo J.L., Chalfun A. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings // Bioelectromagnetics. 2014. Vol. 35. № 6. P. 414–425.
 8. Сарокваша О.Ю. Эколого-биохимический мониторинг состава почвы в зоне размещения линии электропередачи города Безенчук Самарской области: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.04. Самара, 2007. 197 с.
 9. Costanzo E. Influence of extremely low-frequency electric fields on the growth of *Vigna radiata* seedlings // Bioelectromagnetics. 2011. Vol. 32, № 7. P. 589–592.
 10. Хиженьков П.К., Нецветов М.В. Влияние низкоинтенсивных физических факторов на ростовые показатели растений. 1. Переменные электромагнитные поля и растворы солей // Электронная обработка материалов. 2009. № 2. С. 89–92.
 11. Davies M.S. Effects of 60 Hz electromagnetic fields on early growth in three plant species and a replication of previous results // Bioelectromagnetics. 1996. Vol. 17. № 2. P. 154–161.
 12. Brulfert A., Miller M.W., Robertson D., Dooley D.A., Economou P. A cytohistological analysis of roots whose growth is affected by a 60-Hz electric field // Bioelectromagnetics. 1985. Vol. 6. № 3. P. 283–291.
 13. Morton I.M., Miller W., Cox C., Carstesen E.L. Growth rate and mitotic index analysis of *Vicia faba* L. Roots exposed to 60-Hz electric fields // Bioelectromagnetics. 1985. Vol. 6, № 3. P. 293–303.
- Literatura**
1. Silva J.A.T., Dobránszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // Protoplasma. 2015. № 5. P. 1–18.
 2. Shashurin M.M., Prokop'ev I.A., Shein A.A. i dr. Otvetnaja reakcija podorozhnika srednego na dejstvie jelektromagnitnogo polja promyshlennoj chastoty (50 Gc) // Fiziologija rastenij. 2014. T. 61, № 4. S. 517–524.
 3. Fatigoni C., Dominici L., Moretti M., Villarini M., Monarca S. Genotoxic effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields (MF) evaluated by the Tradescantia-micronucleus assay // Environmental Toxicology. 2005. Vol. 20, № 6. R. 585–591.
 4. Polonskij V.I. Vlijanie linij jelektroperedachi na fluktuirujushhuju asimmetriju ivy koz'ej // Vestnik KrasGAU. 2018. № 6. S. 234–238.
 5. Polonskij V.I., Sumina A.V. Vlijanie linij jelektroperedachi na fluktuirujushhuju asimmetriju drevesnyh rastenij // Vestnik Rossijskogo un-ta družby narodov. Ser. Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2018. T. 26, Vyp. 4. S. 441–448.
 6. Soja G., Kunsch B., Gerzabek M., Reichenauer T., Soja A.-M., Rippa G., Bolhàr-Nordenkamp H.R. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line // Bioelectromagnetics. 2003. Vol. 24. № 2. R. 91–102.
 7. Alemán E.I., Moreira R.O., Lima A.A., Silva S.C., González-Olmedo J.L., Chalfun A. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings // Bioelectromagnetics. 2014. Vol. 35. № 6. R. 414–425.
 8. Sarokvasha O.Ju. Jekologo-biohimicheskij monitoring sostava pochvy v zone razmeshhenija linii jelektroperedachi goroda Bezenchuk Samarskoj oblasti: dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16, 03.00.04. Samara, 2007. 197 s.
 9. Costanzo E. Influence of extremely low-frequency electric fields on the growth of *Vigna radiata* seedlings // Bioelectromagnetics. 2011. Vol. 32, № 7. P. 589–592.

10. Hizhenkov P.K., Necvetov M.V. Vlijanie nizkointensivnyh fizicheskikh faktorov na rostovye pokazateli rastenij. 1. Peremennye jelektromagnitnye polja i rastvory solej // Jelektronnaja obrabotka materialov. 2009. № 2. S. 89–92.
11. Davies M.S. Effects of 60 Hz electromagnetic fields on early growth in three plant species and a replication of previous results // Bioelectromagnetics. 1996. Vol. 17. № 2. P. 154–161.
12. Brulfert A., Miller M.W., Robertson D., Dooley D.A., Economou P. A cytohistological analysis of roots whose growth is affected by a 60-Hz electric field // Bioelectromagnetics. 1985. Vol. 6. № 3. R. 283–291.
13. Morton I.M., Miller W., Cox C., Carstesen E.L. Growth rate and mitotic index analysis of *Vicia faba* L. Roots exposed to 60-Hz electric fields // Bioelectromagnetics. 1985. Vol. 6, № 3. P. 293–303.

Авторы выражают благодарность за умелую техническую помощь аспиранту Красноярского государственного аграрного университета А.А. Асановой и магистранту Сибирского федерального университета Ю.В. Прокопишко.

