

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-51-61>
УДК 635.652.2:581.1.043

**И.М. Кайгородова, Н.А. Голубкина,
У.Д. Плотникова, В.А. Ушаков,
А.А. Антошкин**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)
143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: И.М. Кайгородова, В.А. Ушаков, А.А. Антошкин – проведение полевых исследований, структурный анализ растений. Голубкина Н.А. и Плотникова У.Д. – проведение лабораторных исследований. Все авторы проводили статистическую обработку данных и написание статьи.

Для цитирования: Кайгородова И.М., Голубкина Н.А., Плотникова У.Д., Ушаков В.А., Антошкин А.А. Влияние электромагнитного поля высоковольтной линии электропередач на рост и развитие растений фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.). *Овощи России*. 2021;(2):51-61.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-51-61>

Поступила в редакцию: 24.12.2020

Принята к печати: 17.03.2021

Опубликована: 25.04.2021

**Irina M. Kaigorodova,
Nadezhda A. Golubkina,
Ulyana D. Plotnikova,
Vladimir A. Ushakov,
Alexander A. Antoshkin**

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC)
14, Selektionnaya str., Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: I.M. Kaigorodova, V.A. Ushakov, A.A. Antoshkin – conducting field research, structural analysis of plants. N.A. Golubkina and U.D. Plotnikova – performing laboratory tests. All authors carried out statistical data processing and article writing.

For citations: Kaigorodova I.M., Golubkina N.A., Plotnikova U.D., Ushakov V.A., Antoshkin A.A. Effect of high-voltage power lines electromagnetic field on growth and development of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2021;(2):51-61. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-51-61>

Received: 24.12.2020

Accepted for publication: 17.03.2021

Accepted: 25.04.2021

Влияние электромагнитного поля высоковольтной линии электропередач на рост и развитие растений фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.)



Резюме

Актуальность. Во всем мире линии электропередач (ЛЭП) покрывают достаточно обширную территорию сельскохозяйственных угодий. Экспериментальные исследования по изучению влияния электромагнитного поля (ЭМП) на рост и развитие растений проводятся во многих странах. Реакция отдельных видов растений и даже разновидностей на электромагнитное поле проявляется по-разному. Сеть линий электропередач неуклонно растет и в нашем регионе. О влиянии электромагнитного поля на растения фасоли из литературных источников известно немного. Это обуславливает цель и задачи проводимой работы: установить влияние линий электропередач на рост и развитие растений фасоли овощной в зависимости от интенсивности электромагнитного поля.

Материалы и методы. Объект исследования – четыре сорта фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.) (Сакфит, Пагода, МБЗ 556, Аришка), выращенные в условиях разной интенсивности электромагнитного поля ЛЭП. Исследуемые показатели: морфометрические признаки, продуктивность растений, урожайность, содержание сухого вещества, фотосинтетические пигменты, аскорбиновая кислота, общая антиоксидантная активность и полифенолы.

Результаты. В условиях изменения электрического поля от (5-10) до (400-440) В/м и магнитного от 0 до 0,53 мкТл выявлено положительное влияние электромагнитного поля на накопление фотосинтетических пигментов (15-65% – хлорофилл а; 6-52% – хлорофилл b), увеличение интенсивности биосинтеза и полифенолов (до 17%) и антиоксидантной активности (1-15%) в листьях, сухого вещества (2,5-11%) в листьях и аскорбиновой кислоты (12-28%) в бобах фасоли овощной, что благоприятно сказалось на росте, развитии и продуктивности растений и качестве зеленой продукции. Специфическими особенностями фасоли, выращенной в условиях воздействия ЛЭП, являются достоверное снижение уровня каротина в листьях при уровне электрического поля 60-100 В/м (70 м от ЛЭП), а также отсутствие корреляционных взаимосвязей между содержанием хлорофилла и каротина в листьях и общей антиоксидантной активностью жирорастворимых антиоксидантов и содержанием полифенолов в листьях в фазу технической спелости.

Ключевые слова: электромагнитное воздействие, высоковольтные линии, фасоль овощная (*Phaseolus vulgaris* L.), вегетативный рост, продуктивность, антиоксиданты, фотосинтетические пигменты

Effect of high-voltage power lines electromagnetic field on growth and development of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Abstract

Relevance. High voltage electric power transmission lines (HVEPTL) cover a fairly large area of agricultural land all over the world. Investigations of electromagnetic field effect on growth and development of plants are held in various countries. The reaction of individual plant species and even varieties to the electromagnetic field manifests itself in different ways. The network of HVEPTL is growing steadily in our region as well. Nevertheless, information about the effect of the electromagnetic field on bean plants is rather scarce. The aim of the present work was to evaluate HVEPTL effect on the growth and development of vegetable beans, depending on the intensity of the electromagnetic field.

Material and Methods. The work was achieved on green beans *Phaseolus vulgaris* L. (Sakfit, Pagoda, MBZ 556, Arishka cvs) grown in conditions of different electromagnetic field values under HVEPTL. Biometrical parameters, plant productivity, yield, dry matter, photosynthetic pigments content, ascorbic acid, total antioxidant activity and total phenolics were determined.

Results. In the ranges of electric field values from (5-10) to (400-440) В/м and magnetic field from 0 to 0.53 μ T a beneficial effect of electromagnetic field on accumulation of leaves photosynthetic pigments (15-65% increase of chlorophyll a and 6-52% increase of chlorophyll b), polyphenol content (increase up to 17%), antioxidant activity (1-15% increase), and dry matter content (2,5-11% increase) and beans ascorbic acid levels (12-28% increase) were registered. Accordingly, increased plants growth, development and productivity were demonstrated. Peculiarities of beans plants grown under HVEPTL included decrease leaves carotene levels at electric field level of 60-100 В/м (70 m from HVEPTL), and lack of correlation between chlorophyll and carotene in leaves and total antioxidant activity and phenolics content at the stage of technical ripening.

Keywords: electromagnetic effect, HVEPTL, green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), productivity, antioxidants, photosynthetic pigments

1. Введение

Одно из следствий развития цивилизации – загрязнение окружающей среды электромагнитными полями разной частоты и амплитуды [1]. С электромагнитным загрязнением связано неблагоприятное изменение биосферы и насыщение ее энергией. В виде энергии окружающая среда загрязняется теплом и электромагнитными полями (ЭМП). С точки зрения экологии, ЭМП – это один из видов энергетического загрязнения окружающей среды, являющийся глобальным фактором изменения биосферы [2].

Реакция отдельных видов растений и даже разновидностей на электромагнитное поле проявляется по-разному. Противоречивость результатов многих исследований указывает на то, что воздействие электромагнитных полей на растения является видоспецифичным и зависит от характеристик поля, интенсивности и продолжительности воздействия [3].

ЭМП разных частот и интенсивностей могут вызывать как ингибирующее воздействие, так и стимуляцию жизненных процессов (гормезис). Эффект гормезиса нашел наибольшее применение в растениеводстве, в частности в предпосевном облучении семян, что не исключает его использование в других отраслях [4].

В литературных источниках указывается в основном положительный эффект обработки семян магнитным полем на развитие и урожайность кукурузы, подсолнечника, некоторых видов зерновых и овощных культур [5-11].

Во всем мире линии электропередач покрывают достаточно обширную территорию сельскохозяйственных угодий. Соответственно, экспериментальные исследования влияния электромагнитного поля на рост и развитие растений изучаются во многих странах [12-20].

Эксперимент над посевами озимой пшеницы в зоне влияния линии электропередач мощностью 110 кВ был проведен Е. А. Новичковой и др. в 2010 году [21]. Авторы показали, что ЛЭП проявляет угнетающее действие на рост и гормональный статус озимой пшеницы. Электромагнитное излучение ЛЭП выступает в качестве стрессового агента, и его действие проявляется в снижении систем антиоксидантной защиты и пероксидазной активности, а также уровня аскорбиновой кислоты вблизи ЛЭП и на расстоянии 75 м при одновременном увеличении каталазной активности и концентрации витамина С при удалении от линии электропередачи.

Широкое распространение практики выращивания овощных культур под линиями электропередач обуславливает актуальность исследования межвидовых и межсортовых особенностей сельскохозяйственных культур по показателям урожайность и качество продукции в условиях воздействия электромагнитного поля ЛЭП.

Фасоль овощная является ценной высокобелковой культурой,

имеющей разностороннее использование в народном хозяйстве. Она является источником необходимых организму человека незаменимых аминокислот (триптофан, лизин, аргинин), витаминов (С, Е, В2, В6, РР, провитамин А), минеральных веществ (кальций, фосфор, магний, калий, натрий), а также микроэлементов (медь, цинк, железо, йод и др.). У фасоли овощной в пищу используют зрелые семена и бобы, в технической спелости – зелёные лопатки, для приготовления разнообразных блюд, всевозможных супов, начинок, приправ, гарниров, паштетов, холодных закусок [22, 23]. Для обеспечения населения этим ценным продуктом в мире ежегодно наращиваются объемы производства сырья фасоли овощной для переработки и заморозки.

О влиянии ЭМП на растения фасоли из литературных источников известно следующее – предпосевная обработка оказывает положительный эффект на некоторые биохимические и физиологические процессы, тем самым благоприятно воздействуя на рост и развитие проростков фасоли [24-26]. При этом большинство работ посвящено изучению влияния высокочастотных электромагнитных излучений [27] на растения, тогда как ЛЭП относится к низкочастотным (50 Гц), и именно таких полевых работ в зоне действия ЭМП ЛЭП в литературе описано не много. Также практически отсутствуют сведения о влиянии ЭМП ЛЭП на дальнейший рост и развитие растений, продуктивность различных сортов фасоли овощной. Это обуславливает важность изучения проблемы влияния ЛЭП на эту перспективную культуру в зависимости от интенсивности электромагнитного поля. Цель исследования – изучить особенности влияния электромагнитного излучения ЛЭП на рост и развитие растений фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.) и получение товарной продукции зеленых лопаток.

2. Материал и методы

В работе использовали сорта фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.) селекции ФГБНУ ФНЦО: Аришка

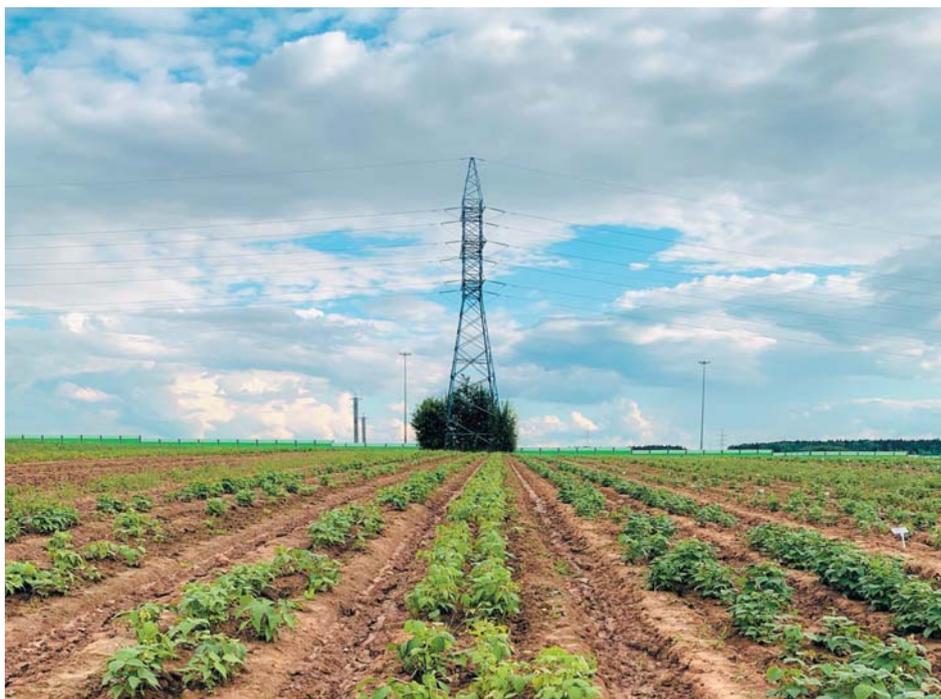
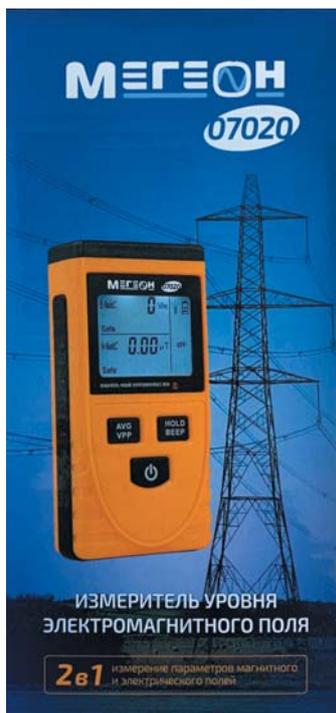
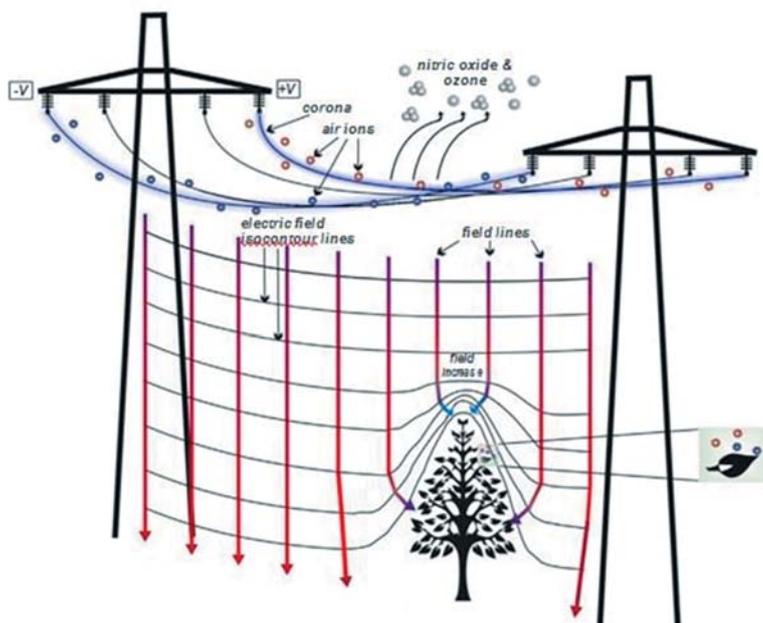


Рис. 1. Посевы фасоли овощной на опытном поле ФГБНУ ФНЦО
Fig. 1. Green beans experimental fields of FSBSI FSVC



А



Б

Рис. 2. а - прибор для измерения уровня электромагнитного поля МЕГЕОН 07020; б - схема распространения электромагнитных полей под ЛЭП [28]

Fig. 2. a - Megeon 07020 device for electromagnetic field meagerment; b -electromagnetic field distribution under HVEPTL [28]

– раннеспелый, Пагода и Сакфит – среднеранние, Московская белая зеленостручная 556 (МБЗ 556) – среднеспелый.

Место и условия проведения опыта. Исследования проводили на экспериментальных полях ФГБНУ ФНЦО (55.65°N, 37.19°E) в 2020 году (рис.1).

Почвы опытного участка дерново-подзолистые, отличаются избыточным количеством железа (Fe - 80,5 мг/г) и низким содержанием меди (Cu), марганца (Mn) и цинка (Zn) (0,26 мг/г, 35,84 мг/г и 1,22 мг/г соответственно при ПДК 3,0 мг/г, 80,0 мг/г и 23,0 мг/г).

Для оценки влияния электромагнитного поля были проведены замеры электрического и магнитных полей на участке посева фасоли овощной с использованием измерителя уровня электромагнитного поля МЕГЕОН 07020 (рис.2).

Напряженность электрического и магнитного полей измеряли под ЛЭП (0 м) и на расстоянии 70 и 140 м от ЛЭП (табл.1).

На выбранных экспериментальных участках, расположенных на разной удаленности от ЛЭП (табл. 1), заложены делянки по 2 м² в трехкратной повторности.

Несмотря на то, что посев в 2020 году произведен позднее на одну декаду, чем обычно, его сроки являются оптимальными для нашей зоны. В течение вегетации

показатели температуры воздуха благоприятно сказывались на росте и развитии растений, так как на протяжении всего периода критических похолоданий не зафиксировано (рис.3).

В начале вегетационного периода отмечено выпадение большого количества осадков, что способствовало появлению почвенной корки. А далее в течение периода вегетации культуры наблюдалось чередование почвенной засухи и переувлажнения.

Агротехнические мероприятия были проведены в соответствии с принятой агротехникой [29]. Посев осуществлен в третьей декаде мая, с наступлением благоприятных условий для культуры. Внесение минеральных удобрений осуществляли перед посевом (Азофоска, 200 кг/га). Во время вегетации культуры для лучшего роста и развития растений проведены подкормки минеральными удобрениями: первая – в фазу 4-5 настоящих листьев (Азофоска, 100 кг/га); вторая – в фазу цветения (Универсал - 18:18:18+3MgO+МЭ; 0,1-0,2%). После посева на третий день проведена обработка почвенным гербицидом Гезагард, 3 л/га. От вредителей обрабатывали препаратом Би 58, 1л/га в период бутонизация – начало цветения. От болезней опрыскивали фунгицидом Колосаль ПРО 1 л/га в начале технической спелости.

Таблица 1. Показатели электрического и магнитного полей на опытных участках выращивания фасоли овощной
Table 1. Electric and magnetic field levels at the experimental fields of green bean cultivation

Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Электрическое поле, В/м Electric field, V/m	Магнитное поле, мкТл Magnetic fields, μT
140 (контроль)(control)	5-10	0
70	65-100	0
0	400-440	0.53

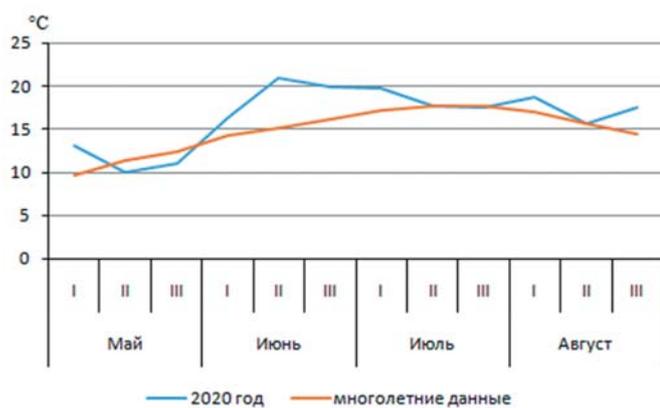


Рис. 3. Средняя температура воздуха, 2020 год
Fig. 3. Mean temperature values, 2020

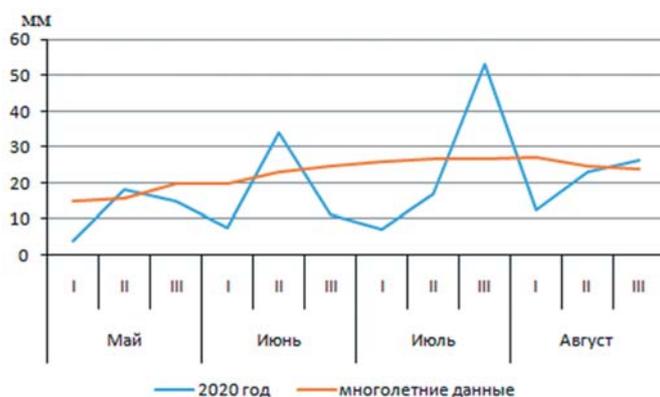


Рис. 4. Сумма осадков, 2020 год
Fig. 4. Mean rainfall values, 2020

Во время вегетации проведены три механизированные междурядные обработки.

Учеты и наблюдения. Оценка морфологических признаков проводили в соответствии с методикой полевого опыта [30] в фазу технической спелости бобов путем индивидуальных измерений десяти растений (с каждой делянки). Уборку урожая фасоли овощной проводили при наступлении массовой технической спелости каждого сорта – первая и вторая декада августа. Продуктивность определяли путем подсчета числа бобов и их взвешивания с каждого учетного растения. После биометрической оценки с учетных растений отделяли листья и зеленые бобы и подготавливали материал для биохимических анализов.

Биохимические показатели

Содержание *сухого вещества* определяли гравиметрически после высушивания образцов при 70°C до постоянной массы.

Содержание *фотосинтетических пигментов* – хлорофиллов а и b (хл а и хл b) и каротина определяли спектрофотометрически на спиртовых экстрактах листьев согласно работе Lichtenthaler [31].

Содержание *аскорбиновой кислоты* устанавливали методом визуального титрования 2,6-дихлорфенол индофенолятом натрия (реактивом Тиллманса) [32].

Содержание *полифенолов* (PP) определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу [32]. 1 г сухого порошка образцов раститель-

ного материала экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70% этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70% спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия и 0,25 мл разбавленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли величину поглощения раствора при 730 нм на спектрофотометре Unicо 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мкг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Для определения *антиоксидантной активности* (АОА) использовали колориметрический метод [32], основанный на титровании раствора 0,01 N KMnO₄ в кислой среде этанольным экстрактом высушенных гомогенизированных образцов до обесцвечивания раствора, свидетельствующего о полном восстановлении Mn⁺⁶ до Mn⁺². В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализа [33] с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel, 2010.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Биометрические показатели, урожайность

Изучение воздействия ЭМП ЛЭП на рост и развитие растений различных сортов фасоли овощной выявило положительный эффект влияния ЭМП ЛЭП на высоту растения в фазу технической спелости. Сорта (кроме Пагоды) имели максимальное значение этого признака на расстоянии 0 м от ЛЭП. Максимальная высота у сорта Пагода была на отметке 70 м от ЛЭП (отклонение от контроля составила 26%). На остальных сортах наблюдалось снижение высоты растения при удалении от ЛЭП по мере снижения уровней электрического и магнитных полей. Относительное отклонение с максимальным положительным эффектом от контроля по сортам составило: Сакфит – 8%; Аришка – 16%, МБЗ 556 – 27%. Дисперсионный анализ показал, что различия средних достоверны и по фактору А (интенсивность ЭМП ЛЭП), и по фактору В (сорт) (А: Fфакт. 4,9 > Fтеор. 3,3 и В: Fфакт. 12,1 > Fтеор. 2,9). Однако доля влияния фактора А составила 37%, а фактора В – 10%, их взаимодействие АхВ – 17%. То есть, влияние ЭМП ЛЭП на данный признак достоверно, но незначительно и в первую очередь оно определяется генотипом сорта.

Нами впервые показано, что влияние ЭМП ЛЭП на массу растений фасоли сортоспецифично. У трех сортов масса растений была более высокой под ЛЭП (0 м). Относительное отклонение от контроля в этом варианте составило: 7% (Аришка), 17% (Сакфит), 43% (Пагода). У сорта МБЗ 556 отклонение от контроля

Таблица 2. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на морфологические признаки растений фасоли овощной
Table 2. Influence of HVEPTL on morphological traits of green bean plants

Аришка Arishka	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Высота растения, см Plant height, cm	Масса растения, г Plants mass, g	Масса листьев, г Leaves mass, g
Аришка Arishka	140(к)	25.7±1.9a	52.4±3.0a	20.0±1.0a
	70	20.0±0.8b	43.1±1.5b	15.0±0.9b
	0	29.7±1.0c	55.8±3.6ad	15.3±1.2b
МБЗ 556 MBZ 556	140(к)	28.3±1.7ac	61.6±3.4c	24.0±0.8c
	70	29.3±1.2c	54.6±2.6a	18.3±1.4d
	0	36.0±2.3d	62.0±4.2cd	21.1±1.5a
Пагода Pagoda	140(к)	28.7±2.5ac	62.3±1.7c	14.7±1.0b
	70	36.3±2.1d	64.4±1.9c	17.0±0.8d
	0	32.3±1.5a	89.1±2.1e	21.9±0.7a
Сакфит Sakfit	140(к)	33.3±2.1d	60.9±1.2cd	21.9±1.5a
	70	35.7±2.6d	62.6±3.0cd	18.3±1.2ad
	0	36.0±1.9d	70.9±2.5f	29.2±1.5e

*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P<0.05$)

было минимальным, но, как и у сорта Аришка при среднем уровне интенсивности ЭМП ЛЭП (70 м), у него отмечен негативный эффект. То есть, изменчивость данного признака в первую очередь определяется генотипом сорта – 23% и взаимодействием факторов АхВ – 15%, тогда как влияние фактора А составило всего 5% (табл.2).

В то же время доля влияния интенсивности ЭМП ЛЭП на формирование листового аппарата (масса листьев) составила 15%, а влияния фактора А (сорта) и взаимодействия АхВ – 24%, при достоверном влиянии обоих факторов на этот признак. Увеличение этого параметра у растений под ЛЭП по сравнению с контролем зафик-

сировано у сортов Пагода и Сакфит – на 33-49%, а у сортов Аришка и МБЗ 556, наоборот, отмечено снижение – на 12-24%. То есть, сортоспецифичность реакции на воздействие ЭМП ЛЭП на этот признак более выражена. У сортов Аришка и МБЗ 556 наибольшая доля листьев в общей массе растения была в контрольном варианте – 38,2% и 39,0%, у сорта Пагода – на участке при среднем уровне интенсивности ЭМП ЛЭП (70 м) – 26,4%, а сорт Сакфит положительно отозвался на действие электромагнитного излучения и сформировал большую долю листьев под ЛЭП – 41,1%.

Положительное влияние ЭМИ на морфометрические признаки растений так же было отмечено ранее и на

Таблица 3. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на продуктивность и урожайность различных сортов фасоли овощной
Table 3. HVEPTL effect on plant productivity and yield of different green bean cultivars

Сорт Cultivar	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Число бобов с растения, шт. Number of beans per plant	Длина боба, см Bean length, cm	Масса бобов, г/раст. Bean mass, g/plant	Урожайность зеленых бобов, т/га Bean yield, t/ha
Аришка Arishka	140 (к)	11.7±0.5ae	11.8±0.2a	32.7±1.2a	9.80±0.3a
	70	10.0±0.2b	11.8±0.3a	31.2±0.9ab	9.36±0.4ab
	0	12.3±0.6ae	12.4±0.2ab	32.8±0.3a	9.83±0.5a
МБЗ 556 MBZ 556	140 (к)	13.5±0.4c	11.5±0.6a	38.8±0.3c	11.65±0.5c
	70	12.3±0.8c	12.8±0.5ab	38.6±0.7c	11.58±0.3c
	0	13.0±0.2c	13.0±0.2b	38.9±2.3cd	11.67±1.2cd
Пагода Pagoda	140 (к)	9.0±0.3d	15.4±0.8c	39.5±1.6cd	11.85±1.4cd
	70	11.5±0.5a	15.3±1.0c	39.7±2.0cd	11.90±1.2cd
	0	10.7±0.5ba	16.2±0.7e	59.4±1.2e	14.85±0.6e
Сакфит Sakfit	140 (к)	12.0±0.6e	15.2±0.4c	38.9±1.0c	11.66±0.5c
	70	11.5±0.3ae	15.4±0.6ce	42.1±2.0d	12.63±0.2d
	0	12.3±0.2e	15.7±0.7e	42.7±1.6d	12.82±0.5d

*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P<0.05$)

других культурах: горчице (*Brassica juncea*) под ЛЭП с напряжением 134 кВ и сахарном тростнике (*Saccharum officinarum*) с напряжением 400 кВ [34]. Однако в отношении злаковых культур наблюдали отрицательное влияние. Так, установлено достоверное снижение высоты и сухой биомассы растений озимой пшеницы в зоне действия ЛЭП 110 кВ [21] и угнетение роста и развития озимой пшеницы, проявившееся уже в фазе кущения вблизи высоковольтной ЛЭП с напряжением 330 кВ [35]. Таким образом, представляется очевидным, что воздействие ЛЭП на рост и развитие сельскохозяйственных растений проявляет высокую видоспецифичность.

Дополнительным подтверждением этому явились данные продуктивности и урожайности фасоли овощной в стадии технической спелости (табл.3).

По признаку "число бобов с растения" существенных различий с контрольным вариантом не отмечено.

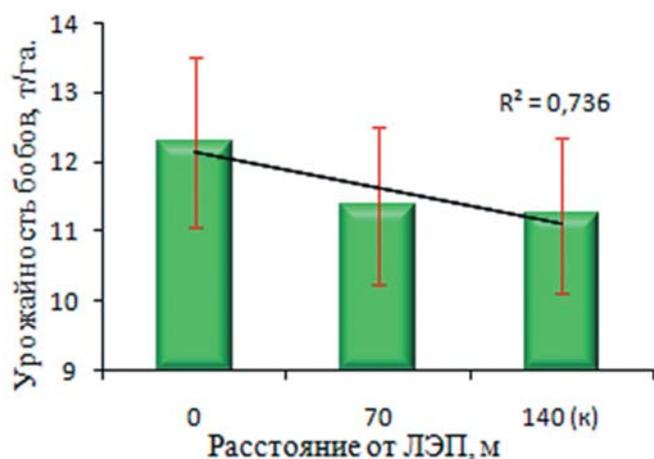


Рис. 5. Влияние интенсивности ЭМП ЛЭП на среднюю урожайность сортов фасоли овощной
Fig. 5. HVEPTL effect on mean green bean yield

Доля влияния анализируемых факторов (ЭМП и сорт) на изменчивость данного признака было незначительным ($ДВ < 10\%$), и в большей степени определялось их взаимодействием ($ДВ = 22\%$). Большим числом бобов на растении характеризуется сорт МБЗ 556, который сформировал 12-13 бобов на растении и в меньшей степени реагировал на интенсивность ЭМП ЛЭП, как и сорт Сакфит.

Отмечена положительная тенденция по признаку длина боба в условиях возрастания интенсивности ЭМП ЛЭП. Все сорта вблизи ЛЭП имели наибольшее значение показателя длины боба, отклонения от контроля были достоверны ($F_{факт.6,8} > F_{теор.5,1}$) и составили в этом варианте от 4% (Сакфит) до 13% (МБЗ 556). Изменение линейных размеров зеленых бобов привело к увеличению выхода товарной овощной продукции (рис.5).

В опыте получена урожайность по вариантам от 9 до 14 т/га (табл.3). При этом положительный эффект наиболее выражен у среднеранних сортов Сакфит и Пагода, повышение продуктивности растений, соответственно, составило 3,8 г (10%) и 19,9 г (50%), а урожайность зеленых бобов под ЛЭП была выше на 10% и 25% относительно контроля. У раннеспелого сорта Аришка и среднеспелого сорта МБЗ 556 достоверных различий с контролем по этим признакам не отмечено.

3.2 Сухое вещество

В результате исследования влияния ЛЭП на накопление сухого вещества в листьях и зеленых бобах фасоли овощной в технической спелости отмечен более слабый эффект воздействия ЭМП (табл.4):

При этом отмечено, что степень варьирования данного признака между сортами была низкой, но увеличивалась при удалении от ЛЭП с $Cv=3\%$ до $Cv=8\%$ – у листьев и с $Cv=7\%$ до $Cv=9\%$ – у бобов. Среди всех сортов наиболее отзывчивым по данному признаку был

Таблица 4. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на содержание сухого вещества в листьях и бобах фасоли овощной
Table 4. HVEPTL effect on dry matter of leaves and beans

Сорт Cultivar	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Сухое вещество в листьях, % Leaves dry matter, %	Сухое вещество в зеленых бобах, % Beans dry matter, %
Аришка Arishka	140 (к)	27.5±1.2ad	13.4±1.2ac
	70	27.2±1.0acd	11.8±0.3b
	0	29.2±1.2ad	12.0±0.6ab
МБЗ 556 MBZ 556	140 (к)	24.2±1.1b	14.2±1.0c
	70	25.8±1.3ab	12,5±0,3a
	0	26.4±1.0ac	12,0±0,1b
Пагода Pagoda	140 (к)	26.6±1.1ac	10,4±0,5d
	70	27.7±1.3cd	9.7±0.1d
	0	27.8±1.3dc	9.4±0.5d
Сакфит Sakfit	140 (к)	21.5±1.0e	12.9±0.5ac
	70	21.6±1.1e	11.7±0.6abd
	0	27.0±0.6cd	10.9±0.6d

*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P < 0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P < 0.05$)

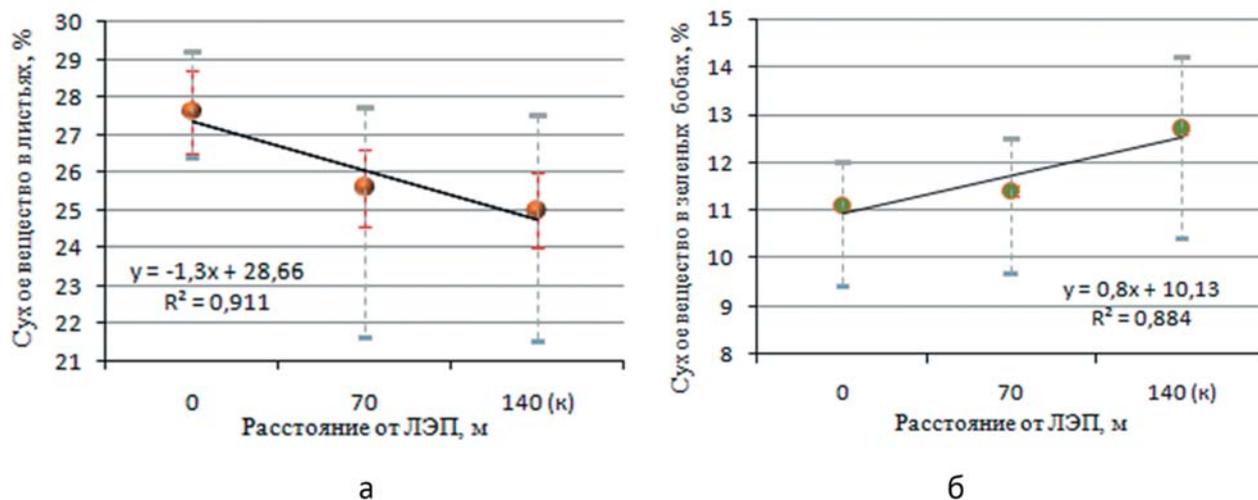


Рис. 6. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на среднее содержание сухого вещества в листьях (а) и бобах (б) фасоли овощной
Fig.6. HVEPTL effect on leaves (a) and beans (b) dry matter content

сорт Сакфит, у которого содержания сухого вещества в бобах снижалось на 23%, а в листьях увеличивалось на 26% относительно контроля. Среднее содержание сухого вещества по всем сортам варьировало от 25% (140 м) до 28% (под ЛЭП) в листьях и от 11% (под ЛЭП) до 13% (140 м) в бобах (рис.6).

3.3 Фотосинтетические пигменты

Анализ содержания фотосинтетических пигментов в зеленых листьях выявил сходную реакцию различных сортов фасоли овощной на электромагнитное воздействие ЛЭП (табл.5).

Полученные результаты указывают на положительное влияние интенсивности ЭМП ЛЭП на содержание хлорофилла а в листьях ($r=0,64$; при $P<0,05$), что находится в хорошем соответствии с данными для масличной пальмы (*Elaeis guineensis* Jacq.) [36]. Отклонение от контроля в накоплении хлорофилла листьями фасоли составило от 3% до 46% при 70 м и от 15% до 65% под линией электропередач. Менее отзывчивым оказался сорт Аришка, а максимальный эффект отмечен у сорта Сакфит. Оценка соотношения хлорофиллов а/б в листьях выявила сходную закономерность, хотя по накоплению хлорофилла b отмечена несколько другая

Таблица 5. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на содержание фотосинтетических пигментов в листьях фасоли овощной в фазу технической спелости, мг/г сырой массы
Table 5. HVEPTL effect on photosynthetic pigments accumulation at the stage of beans technical ripening

Сорт Cultivar	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Хлорофилл а Chlorophyll a	Хлорофилл b Chlorophyll b	Хлорофилл а/б Chlorophyll a/b	Каротин Carotene
Аришка Arishka	140(к)	1.26±0.10ae	0.62±0.03a	2.03	0.29±0.01a
	70	1.30±0.07a	0.81±0.05bc	1.60	0.10±0.01b
	0	1.45±0.05b	0.66±0.04ac	2.20	0.17±0.05c
МБЗ 556 MBZ 556	140(к)	1.47±0.03b	0.90±0.06b	1.63	0.27±0.02a
	70	1.65±0.09c	1.53±0.10d	1.08	0.16±0.01c
	0	1.91±0.05d	1.15±0.10e	1.66	0.32±0.03a
Пагода Pagoda	140(к)	1.19±0.02e	1.09±0.09e	1.09	0.33±0.04a
	70	1.42±0.02b	1.28±0.10e	1.11	0.15±0.06c
	0	1.48±0.06b	1.08±0.05e	1.37	0.21±0.05d
Сакфит Sakfit	140(к)	0.89±0.08f	0.50±0.04f	1.78	0.27±0.02d
	70	1.30±0.10ae	0.73±0.05c	1,78	0.23±0.07d
	0	1.47±0.10b	0.76±0.07c	1.93	0.31±0.09a

*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P<0.05$)

Таблица 6. Корреляционные взаимосвязи между биохимическими показателями растений фасоли овощной
 Table 6. Correlations between biochemical parameters of green beans

	Каротин Carotene	АК лист Leaves AA	АК боб Beans AA	СВ лист Leaves DM	СВ боб Beans DM	АОА лист Leaves AOA	РР лист Leaves TP
Хлорофилл a + b Chlorophyll a + b	-0.149	-0.471	0.228	0.367	-0.265	0.5894	0.343
Каротин Carotene	1	0.064	-0.309	-0.245	0.166	-0.031	-0.261
АК лист Leaves AA		1	-0.5494	-0.398	0.7371	-0.5554	-0.073
АК боб Beans AA			1	0.426	-0.295	0.133	0.497
СВ лист Leaves DM				1	-0.401	0.057	0.282
СВ боб Beans DM					1	-0.6642	0.449
АОА лист Leaves AOA						1	-0.339

Хл. a + b - сумма хлорофиллов a и b, АК лист - аскорбиновая кислота в листьях, АК боб - аскорбиновая кислота в бобах, СВ лист - сухое вещество в листьях, СВ боб - сухое вещество в бобах, АОА лист - общая антиоксидантная активность в листьях, РР лист - полифенолы в листьях. Chlorophyll; AA - ascorbic acid; DM - dry matter, TP - total phenolics; AOA - total antioxidant activity. 1) $P < 0,005$; 2) $P < 0,01$; 3) $P < 0,02$; 4) $P < 0,05$

специфичность: максимальные значения отмечены у растений, удаленных от ЛЭП на 70 м. То есть, воздействие ЭМП ЛЭП в целом положительно повлияло на развитие растений и эффективность работы листового аппарата фасоли овощной за счет наиболее высокого накопления фотосинтетических пигментов в листьях растений, растущих вблизи ЛЭП.

Особый интерес представляют данные накопления каротина листьями фасоли. По накоплению каротина в листьях образцы разделились на две группы. При высокой интенсивности ЭМП ЛЭП у спаржевых сортов Аришка и Пагода содержание каротина в листьях было на 36-41% ниже, чем в контрольном варианте (140 м). Универсальные сорта МБЗ 556 и Сакфит проявили положительную реакцию и накапливали каротин под влиянием ЭМП ЛЭП на 16-19% больше относительно контроля. Однако при среднем уровне интенсивности излучения на расстоянии 70 м от ЛЭП, у всех сортов отмечено снижение этого показателя на 15-65% в сравнении с контрольным вариантом. Более того, прямая корреляция между содержанием хлорофилла a+b и каротина в листьях фасоли отсутствовала ($r = -0,149$, $P > 0,05$; табл.6) в отличие от литературных данных о прямой взаимосвязи между этими показателями для большинства культур [37].

Принимая во внимание известный факт, что каротин синтезируется в растениях из хлорофилла, следует предположить, что воздействие электромагнитного поля ЛЭП в определенном диапазоне интенсивности оказывает существенное влияние на биосинтез каротина. Дополнительным подтверждением данного явления служит работа Мичуриной, 2005 [38] где описывается снижение уровня каротина в листьях пшеницы непосредственно под ЛЭП. Ограниченность данных по этому вопросу предполагает необходимость проведения расширенного исследования влияния электромагнитного поля ЛЭП на накопление фотосинтетических пигментов различными овощными культурами для установления общих закономерностей.

3.4 Антиоксиданты

3.4.1 Полифенолы и общая антиоксидантная активность

Изменения в содержании полифенолов и уровне общей антиоксидантной активности (АОА) в листьях фасоли оказались незначительными, что позволяет говорить лишь о тенденции к постепенному возрастанию этих показателей по мере приближения к ЛЭП (табл.7).

Уровень общей антиоксидантной активности по изученным сортам был в пределах 28-41 мг-экв ГК/г сухой массы. Интересно отметить, что при использовании экстракции материала 70% спиртом, уровень антиоксидантной активности в листьях был непосредственно связан с содержанием хлорофилла ($r = +0,589$, $P < 0,05$, табл.6). Более того, наблюдалась отрицательная взаимосвязь между АОА листьев и содержанием сухого вещества в бобах ($r = -0,664$; $P < 0,01$).

Данные табл. 6 свидетельствуют о высокой стабильности накопления полифенолов спаржевой фасолью. Действительно, среди исследованных сортов достоверные различия между вариантами с разным уровнем воздействия электромагнитного поля наблюдались только у сорта Пагода. Тем не менее, усредненные показатели для 4 исследованных сортов фасоли свидетельствуют о существовании слабого положительного влияния ЛЭП как на накопление полифенолов в листьях фасоли, так и на уровень общей антиоксидантной активности (рис.7).

При этом отмечена разная степень варьирования показателей при разном уровне воздействия ЭМП ЛЭП. Интервал варьирования признака содержание АОА при отметке 140 м от ЛЭП был выше, чем на участке под ЛЭП (0 м). А у накопления РР максимальный диапазон изменчивости был при 70 м от ЛЭП. Высокая интенсивность излучения ЭМП ЛЭП способствует снижению диапазона варьирования данных параметров под ЛЭП.

С другой стороны, следует отметить, что в условиях воздействия электромагнитного поля ЛЭП нами не

Таблица 7. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на содержание антиоксидантов и полифенолов в листьях фасоли овощной
 Table 7. Influence of HVEPTL on the accumulation of antioxidants and polyphenols in the leaves of vegetable beans

Сорт Cultivar	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	АОА, мг ГКЭ/г с.м. AOA, mg GAE/ g d.w.	Полифенолы, мг ГКЭ/г с.м. Phenolics, mg GAE/ g d.w.
Аришка Arishka	140(к)	28.3±1.5bc	20.2±1.2a
	70	31.9±1.0b	19.5±0.9a
	0	32.6±2.1ab	19.7±1.1a
МБЗ 556 MBS 556	140(к)	35.5±1.9a	19.2±1.0a
	70	36.0±1.5a	20.8±1.5a
	0	37.2±2.0a	20.0±0.9a
Пагода Pagoda	140(к)	37.2±3.0a	16.3±1.2b
	70	39.3±1.4b	17.9±1.0b
	0	41.2±2.2bc	19.1±1.0a
Сакфит Sakfit	140(к)	33.6±1.9ab	18.1±1.2ab
	70	34.6±1.8a	18.1±0.8ab
	0	34.1±1.5a	19.2±1.9a

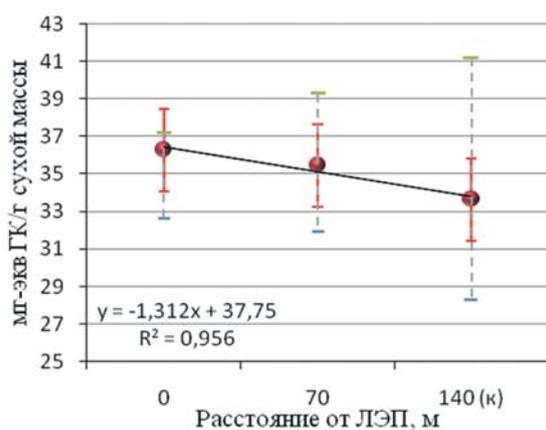
*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P < 0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P < 0.05$)

наблюдалась прямая корреляция между общей антиоксидантной активностью и содержанием полифенолов ($r = -0,339$; $P > 0,05$; табл.6) в отличие от большинства известных сельскохозяйственных культур, для которых такая взаимосвязь описывается прямой корреляцией [39]. Очевидно, что вопрос влияния электромагнитного поля ЛЭП на общий антиоксидантный статус растений и содержание полифенолов требует дополнительного исследования.

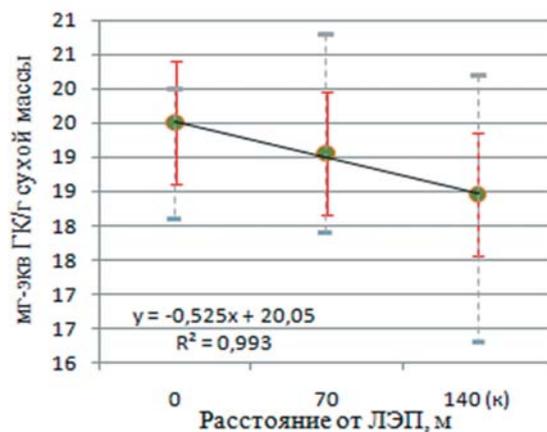
3.4.2 Аскорбиновая кислота

По данным Е.А. Новичковой с соавторами [21], ЭМП ЛЭП (110 кВ) выступает в качестве стрессового агента и его воздействие проявляется в снижении систем антиоксидантной защиты, а также уровня аскорбиновой кислоты в листьях озимой пшеницы вблизи ЛЭП и на расстоянии 75 м. Результаты настоящего исследования показали, что содержание аскорбиновой кислоты у сортов фасоли овощной в листьях варьировало от 50 мг до 77,5 мг на 100 г сырой массы (табл.8).

При этом наблюдалось достоверное возрастание этого показателя в листьях по мере удаления от ЛЭП и, напротив, снижение уровня накопления аскорбиновой кислоты в бобах. Тесная взаимосвязь между этими показателями подтверждается достоверным отрицательным коэффициентом корреляции ($r = -0,549$; $P < 0,05$; табл.6) Изменчивость признака в пределах каждого варианта была не высокой ($C_v < 10\%$), а максимальное содержание аскорбиновой кислоты в листьях в данном опыте было в контрольном варианте. Средний процент отклонения от контроля составил: – 9,9% – в варианте 70 м и – 17,5% – под ЛЭП, при этом наибольший эффект влияния ЭМП ЛЭП отмечен у сорта Пагода (-25,4%). Можно предположить, что в условиях мощного электромагнитного поля происходит интенсификация процесса оттока аскорбиновой кислоты от листьев к бобам. Следует отметить, что уровень накопления аскорбиновой кислоты в листьях растений был тем больше, чем больше сухого вещества было зафиксировано в бобах ($r = +0,737$; $P < 0,005$;



а



б

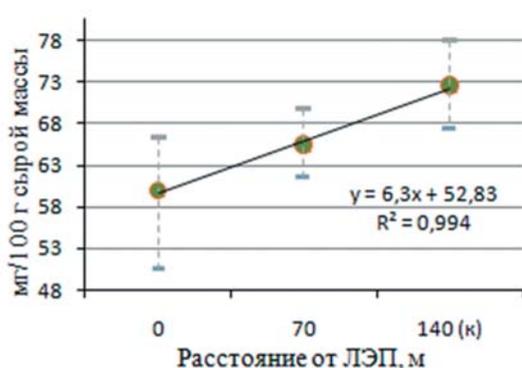
Рис. 7. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на общую антиоксидантную активность (а) и содержание полифенолов (б) в листьях фасоли овощной
 Fig.7. HVEPTL effect on AOA and phenolics content in bean leaves

Таблица 8. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на содержание аскорбиновой кислоты в листьях и бобах фасоли овощной

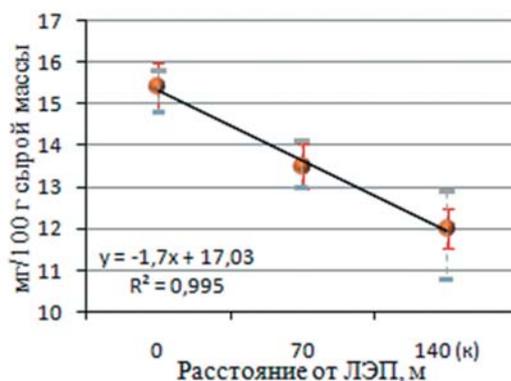
Table 8. HVEPTL effect on leaves and beans ascorbic acid accumulation

Сорт Cultivar	Расстояние от ЛЭП, м Distance from HVEPTL, m	Листья, мг/100 г сырой массы Leaves, mg/100 g f.w.	Зеленые бобы, мг/100 г сырой массы Green beans, mg/100 g f.w.
Аришка Arishka	140	69.3±4.2ab	12.2±0.7a
	70	69.3±3.5ab	14.1±0.9bc
	0	65.8±1.5ac	15.8±1.0c
МБЗ 556 MBZ 556	140	74.2±4.8be	12.3±0.8a
	70	65.3±5.3abcf	13.5±1.0ab
	0	62.2±2.5cf	14.8±0.4c
Пагода Pagoda	140	67.0±2.9ab	10.8±0.5d
	70	63.9±4.5ac	13.5±1.0ab
	0	50.0±3.2d	15.3±0.5c
Сакфит Sakfit	140	77.5±3.9e	12.9±0.6abd
	70	61.0±3.2cf	13.0±1.1ab
	0	59.6±4.0f	15.6±0.8c

*Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P < 0.05$ (values in columns with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P < 0.05$)



а



б

Рис. 8. Влияние интенсивности электромагнитного поля ЛЭП на среднее содержание аскорбиновой кислоты в листьях (а) и бобах (б) фасоли овощной
Figure 8. HVEPTL effect on leaves and green beans ascorbic acid

табл.6). То есть, между накоплением аскорбиновой кислоты в листьях и интенсивностью ЭМП ЛЭП проявилась тесная отрицательная зависимость ($r = -0,750$; $P < 0,05$), в то время как накопление аскорбиновой кислоты в бобах имело противоположную закономерность и увеличивалось при увеличении интенсивности ЭМП ЛЭП ($r = +0,930$; $P < 0,05$) (рис.8).

В целом содержание аскорбиновой кислоты в зеленых бобах варьировало от 10 мг/100 г (Пагода) до 15 мг/100 г (Аришка). Отклонение по отношению к контролю составило в среднем по сортам: от 12,2% при 70 м до 27,6% под ЛЭП. Изменчивость признака в пределах каждого варианта была невысокой ($C_v < 10\%$).

Безопасность работы под ЛЭП

Следует отметить, что для человека, работающего в таких условиях, установленная величина электрического поля в нашем исследовании – 440 В/м, считается безопасной, так как предельно допустимый уровень напряженности электрической составляющей токов промышленной частоты 50 Гц в России составляет от 500 В/м. Хотя, согласно международным стандартам IARC/IRPA предельно допустимый уровень (ПДУ) электрического поля равен 87 В/м. В России установлен не самый высокий показатель ПДУ электрического поля, так в США он равен 614 В/м, а в Германии – 1500 В/м

[40]. Наиболее опасным для здоровья человека считается магнитное поле. На основании массовых эпидемиологических обследований населения, находящихся в условиях облучения магнитными полями ЛЭП, как безопасный или "нормальный" уровень для условий продолжительного облучения, независимо друг от друга шведскими и американскими специалистами рекомендована величина плотности потока магнитной индукции 0,2-0,3 мкТл. Тогда как в России это величина начинается от 5 мкТл. По данным наших измерений величина магнитного поля под ЛЭП напряженностью 220 кВ равна 0,53 мкТл, т.е. по российским нормативам показатели ЭМП находятся в пределах допустимых значений, что свидетельствует о возможности возделывания фасоли овощной и работы человека в таких условиях.

Заключение

Таким образом, выявленное положительное действие ЭМП ЛЭП на рост, продуктивность и качество фасоли овощной представляется значимым и открывает новые возможности эффективного использования территорий, занятых ЛЭП. Выявленные аномалии в накоплении фотосинтетических пигментов и антиоксидантов в условиях воздействия ЛЭП требуют дальнейших исследований.

Об авторах:

Ирина Михайловна Кайгородова – старший научный сотрудник, кандидат с.-х. наук, kaigorodova-i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5048-8417>
Надежда Александровна Голубкина – главный научный сотрудник, доктор с.-х. наук, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>
Ульяна Дмитриевна Плотинова – лаборант-исследователь, uliyagulya3@gmail.com
Владимир Анатольевич Ушаков – заведующий лабораторией, кандидат с.-х. наук, goroh@vniissok.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8901-1424>
Александр Александрович Антошкин – старший научный сотрудник, кандидат с.-х. наук, aa_antoshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3534-2727>

About the authors:

Irina M. Kaigorodova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, kaigorodova-i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5048-8417>
Nadezhda A. Golubkina – Doc. Sci. (Agriculture), Chief Researcher Laboratory Analytical Department, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>
Ulyana D. Plotnikova – Researcher-assistant Laboratory Analytical Department, uliyagulya3@gmail.com
Vladimir A. Ushakov – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, goroh@vniissok.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8901-1424>
Alexander A. Antoshkin – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, aa_antoshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3534-2727>

• Литература / References

1. Кудряшов, Ю.Б., Перов Ю.Ф., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения. Учебник для вузов. М.: ФИЗМАТ ЛИТ. 2008. 184 с. [Kudryashov, Y.B., Petrov Y.F., Rubin A.B. Radiation biophysics: radio frequency and microwave electromagnetic radiation. *Textbook for universities*. M.: FIZMAT LIT. 2008. 184. (In Russ.)]
2. Сподобаев, Ю.М. Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь. 2000. 240 с. [Spodobaev, Y.M., Kubanov V.P. Fundamentals of electromagnetic ecology. M.: Radio and communication. 2000. 240. (In Russ.)]
3. Nyakane N.E., Markus E.D., Sedibe M.M. The effects of magnetic fields on plants growth: A Comprehensive Review. *International Journal of food engineering*. 2019;5(1):79-87. DOI: 10.18178/ijfe.5.1.79-87.
4. Фокин, А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология. М.: Дрофа. 2005. 367 с. [Fokin, A.D., Lurie A.A., Torshin S.P. Agricultural radiology. M.: Drofa. 2005. 367 p. (In Russ.)]
5. Pietruszewski S., Wojcik S. Effect of magnetic field on yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*. 2000;(14):89-92.
6. Rochalska M. Influence of frequent magnetic field on chlorophyll content in leaves of sugar beet plants. *Nukleonika*. 2005;(50):25-28.
7. Pietruszewski S., Martinez E. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. *International Agrophysics*. 2015;(29):377-389. DOI: 10.1515/intag-2015-0044.
8. Florez M., Carbonell M.V., Martinez E. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth. *Environmental and experimental botany*. 2007;(59):68-75. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.006.
9. Martinez E., Carbonell M.V., Florez H., Amaya J.M., Makoeda R. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculantum* L.) under magnetic fields. *International Agrophysics*. 2009;(23):44-50.
10. Zepeda-Bautista R., Hernandez-Aguilar C., Suazo-Lopez F., Dominguez-Pacheco A.F., Virgen-Vargas J., Perez-Reyes C., Peon-Escalante I. Electromagnetic field in corn grain production and health. *African journal of biotechnology*. 2014;13(1):76-83. DOI: 10.5897/AJB2013.13245.
11. Пивоваров В.Ф., Добрущая Е.Г., Солдатенко А.В., Ушакова О.В., Сапрыкин А.Е., Кривенков Л.В. Метод снижения содержания радионуклидов и тяжелых металлов в растениеводческой продукции путем предпосевной обработки семян. Патент на изобретение RU № 2412576 C2. 2011. 6 с. [Pivovarov V.F., Dobrutskaya E.G., Soldatenko A.V., Ushakova O.V., Saprykin A.E., Krivenkov L.V. Method to reduce content of radionuclides and heavy metals in plant produce by means of pre-sowing treatment of seeds. *Patent for invention RU No. 2412576 C2*. 2011; 6. (In Russ.)]
12. Soja G., Kunsch B., Gerzabek M., Reichenauer T., Soja A.-M., Rippar G., Bolhar Nordenkamp H.R. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) and corn (*Zea mays*) near a high voltage transmission line. *Bioelectromagnetics*. 2003;(24):91-102. DOI: 10.1002/bem.10069.
13. Dardeniz A., Tayyar S., Yalcin S. Influence of low - frequency electromagnetic field on the vegetative growth of grape CV. USLU. *Central European Agriculture Journal*. 2006;(7):389-396.
14. Demir Z. Proximity effects of high voltage electric power transmission lines on ornamental plant growth. *African Journal Biotechnology*. 2010;(9):6486-6491. DOI: 10.5897/AJB10.124.
15. Pandey S.K., Singh H., Hasan G.T. A simple cost - effective method for leaf area estimation. *Journal of Botany*. 2011;(17):1-6. DOI: 10.1155/2011/658240.
16. Bhattacharya R., Barman P. Application of magnetic field on the early growth of *Cicer arietinum* seeds. *International journal of physics*. 2011;(4):1-9.
17. Meliha M., Gemici H.D., Gemici, Y. Effects of electromagnetic fields produced by high voltage transmission on physiology of *Juglans regia* L. and *Cerasus avium* L. *Journal of faculty of agriculture*. 2013;50(2):129-135.
18. Majd A., Arabian S., Dorrani D., Hashemi M. Study of effects of electromagnetic fields on seeds germination, seedlings ontogeny, changes in protein content and catalase enzyme in *Valeriana officinalis* L. *Advances in Environmental Biology*. 2013;(9):2235-2240.
19. Bhattacharya R., Barman P. 132 KV high voltage power transmission line and stress on brassica juncea. *International journal of electronics and communication technology*. 2013;4 (1):140-142.
20. Barman P., Bhattacharya R. Impact of 400 KV high tension line on *Saccharum officinarum* (sugarcane). A preliminary observation. *International journal of innovative research in science and technology*. 2014;3(2):296-299.
21. Новичкова, Е.А. Подковкин, В.Г., Маслов М.Ю. Некоторые аспекты вегетации озимой пшеницы в зоне действия электромагнитного поля в условиях Самарской области *Вестник СамГУ, Естественнонаучная серия*. 2010;(276):203-215. [Novichkova, E.A. Podkovkin, V.G., Maslov M.Y. Some aspects of winter wheat vegetation in the area of electromagnetic field action in the Samara region. *Bulletin of SamSU, Natural Science Series*. 2010;276):203-215. (In Russ.)]
22. Broughton W.J., Hernandez G., Blair M., Beebe S., Gepts P., Vanderleyden J. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil*. 2003;(252):55-128. DOI: 10.1023/A:1024146710611.
23. Антошкин А.А., Мирошникова М.П., Пронина Е.П., Гончаров С.В. Агротехника и семеноводство фасоли овощной. Селекция и семеноводство овощных культур. 2009;(43):35-38. [Antoshkin A.A., Miroshnikova M.P., Pronina E.P., Goncharov S.V. Specifics of agricultural technology of green bean. *Vegetables breeding and seed production*. 2009;(43):35-38. (In Russ.)]
24. Kiatgamjorn P., Tarateeraseth V., Khanngern W., Nitta S. The effect of electric field intensity on bean sprout growing. Conference: Environmental electromagnetics. *Proceedings, Asia-Pacific Conference on, December*. 2003;461-467. DOI: 10.1109/CEEM.2003.1282264.
25. Odhiambo O.J., Ndiritu G.F., Wagara N.I. The influence of AC electromagnetic fields on the initial radicle growth rate of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of applied biosciences*. 2009;(22):1350-1358.
26. Podlesna A., Bojarszczuk J., Podlesny J. Effect of pre-sowing magnetic field treatment on some biochemical and physiological processes in faba bean (*Vicia faba* L. spp. Minor). *Journal of plant growth regulation*. 2019;(38):153-1160. DOI: 10.1007/s00344-019-09920-1.
27. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant responses to high frequency electromagnetic fields. *BioMed Research International, Hindawi Publishing Corporation*. 2016;1-14. DOI: 10.1155/2016/1830262.
28. Schmiedchen K., Petri A., Driessen S., Bailey W. Systematic review of biological effects of exposure to static electric fields. Part II: Invertebrates and plants. *Environmental Research*. 2018;(160):60-76. DOI:10.1016/j.envres.2017.09.013.
29. Методические указания по селекции и первичному семеноводству овощных бобовых культур. М.: ВНИИССОК; ред. Е.В. Мамаева. 1985. 60 с. [Guidelines for selection and primary seed production of vegetable legumes. M.: VNIISOK; ed. E.V. Mamaev. 1985. 60 p. (In Russ.)]
30. Белик, В.Ф., В.Ф. Рубин, Д.Е. Лукьяненко. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве. М.: НИИОХ. 1979. 210 с. [Belik, V.F., Rubin V.F., Lukanenko D.E. The method of field experiment in vegetable growing and melon growing. M.: NIIOH. 1979; 210 p. (In Russ.)]
31. Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and Carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in enzymology*. 1987;(148):350-382.
32. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежкин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. М.: ИИОПА-М. 2020. 181 с. DOI: 10.12737/1045420. [Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V. Antoshkina M.S., Nadezkin S.M., Soldatenko A.V. Antioxidants of plants and methods of their definition. M.: INFRA-M. 2020. 181 p. (In Russ.)]
33. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с. [Dospikhov, B.A. Field experiment technique. M.: Agropromizdat. 1985. 351 p. (In Russ.)]
34. Barman P., Bhattacharya R. Survey on the potential impact of high voltage transmission lines on the growth characteristics of plants. *International journal of environmental sciences*. 2015;6(2):219-224. DOI: 10.6088/ijes.6024.
35. Домаш В.И., Канделинская О.Л., Иванов О.А., Грищенко Е.Р., Шарпио Т.П., Забрейко С.А. Роль системы протеолиза и лектинов в механизмах адаптации культурных и дикорастущих растений к действию электромагнитного излучения ЛЭП. Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды. *Годичное собрание Общества физиологов растений России*. 2018;(II):1052-1054. DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-1052-1054. [Domash V.I., Kandelinskaya O.L., Ivanov O.A., Grischenko E.R., Sharpio T.P., Zabreiko S.A. The role of the proteolysis system and lectins in the mechanisms of adaptation of cultivated and wild-growing plants to the action of electromagnetic radiation from power lines. Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental conditions. *Annual meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia*. 2018;(II):1052-1054. DOI: 10.31255 / 978-5-94797-319-8-1052-1054. (In Russ.)]
36. Mahmood M., Bee O.B., Mohamed M.T., Subramaniam S. Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll content and peroxidase enzyme activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2012;25(6). DOI: 10.9755/ejfa.v25i6.15583.
37. Темичев А.В., Голубкина Н.А., Старцев В.И. Биохимическая характеристика восточно-азиатских видов капусты. Гавриш. 2004;(2):14-18. [Temichev A.V., Golubkina N.A., Startsev V.I. Biochemical characteristics of East-Asian species of Brassica L. Gavrish. 2004;(2):14-18. (In Russ.)]
38. Мичурина Н.Ю. Эколого-биохимический анализ изменчивости озимой пшеницы в зоне влияния линий электропередачи в условиях Среднего Поволжья. Автореферат дис...канд. с.-х. наук. 03.00.16 и 03.00.04. 2005. 18 p. [Michurina N.Y. Ecological and biochemical analysis of winter wheat variability in the zone of influence of power transmission lines in the conditions of the Srednego Povolzhya. Abstract of the thesis diss. agr. sci. 03.00.16 and 03.00.04. 2005. 18 p. (In Russ.)]
39. Golubkina N.A., Kharchenko V.A., Moldovan A.I., Koshevarov A.A., Zamana S., Nadezhkin S., Soldatenko A., Sekara A., Tallarita A., Caruso G. Yield, growth, quality, biochemical characteristics and elemental composition of plant parts of celery leafy, stalk and root types grown in the northern hemisphere. *Plants*. 2020;(9):484; DOI:10.3390/plants9040484.
40. <http://hdl.handle.net/11701/2237>.