

УДК 577.3

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛЭП-110 КВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КОНЦЕНТРАЦИЮ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО *ACER NEGUNDO* L.¹

© 2007 Е.А. Новичкова, В.Г. Подковкин²

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом влияния электромагнитного поля высоковольтной линии электропередачи на динамику роста и концентрацию пигментов в листьях клена ясенелистного *Acer negundo* L., произрастающего в зоне размещения ЛЭП. Приводятся некоторые результаты исследований в районе прохождения ЛЭП-110 кВ вблизи села Богатое Самарской области.

Введение

В настоящее время имеется большое количество публикаций, свидетельствующих о многочисленных исследованиях влияния магнитных полей различной интенсивности и частоты на микроорганизмы, насекомых, растения, животных и их популяции. Существуют доказательства того, что живые организмы могут обнаруживать и реагировать на магнитные поля [1].

Развитие производства и широкое внедрение современных технологий приводит к расширению контактов человека и окружающей природной среды с различными электромагнитными излучениями [2, 3]. За пределами городов в условиях естественных экосистем наиболее распространенным источником электромагнитных полей являются линии электропередачи. В нашей стране они имеют большую протяженность и в зону их влияния попадают значительные площади, как природных биогеоценозов, так и обрабатываемых земель сельскохозяйственного назначения. Таким образом, создается электромагнитное загрязнение [4], оказывающее ощутимое влияние на различные стороны жизнедеятельности растений, животных и человека.

Фактически все живые организмы подвергаются влиянию геомагнитного поля Земли и, вероятно, адаптировались к своему геомагнитному окружению в результате естественного отбора. И, следовательно, можно ожидать выраженной

¹ Представлена доктором биологических наук, профессором С.А. Сачковым.

² Новичкова Елена Анатольевна (novitchkova@rambler.ru), Подковкин Владимир Георгиевич (podkovkin@rambler.ru), кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

адаптационной реакции живого организма даже на небольшие изменения индукции внешнего магнитного поля, как, например, во время пребывания объекта в зоне действия высоковольтной ЛЭП.

Данные о биологических эффектах электромагнитных полей антропогенного происхождения в естественных условиях немногочисленны, неполны и противоречивы. Отсутствует нормативная документация, регламентирующая воздействие данного фактора среды на природные экосистемы [5]. При этом, многочисленные линии электропередачи, проходящие через поля, засеянные сельскохозяйственными культурами, и лесополосы, обладают выраженной биологической активностью и могут вызывать снижение устойчивости живых организмов к другим абиотическим факторам среды обитания [5].

Экспериментальные данные позволяют заключить, что процессы роста и развития растений зависят от ориентации посадки их семян относительно силовых линий геомагнитного поля [6]. К сожалению, механизмы воздействия физических факторов на биологические системы в силу высокой сложности последних далеки от разгадки [4, 6].

Как известно, общепризнанных индикаторов электромагнитного загрязнения не существует. В данной работе рассматривается возможность использования растений в этом качестве.

Целью нашего исследования является изучение влияния электромагнитного поля линии электропередачи на темпы роста и развития, а также фотосинтетическую активность *Acer negundo* L.

Методика исследования

В качестве параметров биоиндикации электромагнитного воздействия исследовались морфометрические показатели и фотосинтетическая активность клена ясенелистного *Acer negundo* L. в зависимости от его местоположения относительно источника воздействия. Исследования проводились в период с 13 по 23 мая 2006 года.

Эксперимент был проведен на *Acer negundo* L., произрастающем вдоль лесополосы, пересекающей поле подсолнечника "Поволжский 8". Для изучения электромагнитного воздействия были взяты образцы растений в районе линии электропередачи с напряжением 110 кВ, проходящей вблизи села Богатое Самарской области. Исследуемые площади были удалены от источника излучения соответственно на 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195 и 210 метров. Контрольные экземпляры брали на участке 1 км от ЛЭП-110 кВ. Экологические условия одной линии в месте проведения эксперимента были идентичные.

Для оценки морфометрических параметров снимали показатели длины и ширины каждого листика в составе сложного листа (сложный лист включал по 3 листика). Забор исследуемых образцов осуществляли со стороны поля с модель-

ной ветви длиной около 2 м, взятой из средней части кроны на уровне роста. Выборка включала по 15 листьев с 3 деревьев исследуемого участка.

Для определения фотосинтетической активности клена брали по 5 образцов листьев с 5 деревьев исследуемого участка. Биохимические анализы концентрации хлорофиллов а и b, а также каротиноидов в листьях проводили по Хольму-Ветштейну [7].

Для оценки состава почвы в районе проведения эксперимента производили два варианта анализов.

1. Химический анализ почвы со всех исследуемых площадей [8]. Определяли гумусность, влажность, pH, механический состав и структуру почвенных образцов, концентрацию ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} .

2. Биотестирование почвы проводили с использованием семян кресс-салата. Семена проращивали в течение двух суток в почве, взятой с точек основного эксперимента и с контрольных точек. Были созданы одинаковые условия прорастания для опытных и контрольных групп (количество почвы, освещенность, полив). По истечении суток производили замеры проростков.

Полученные в эксперименте цифровые данные подвергали статистической обработке стандартным способом с помощью критерия Стьюдента [9] с использованием специализированных компьютерных приложений Excel. Измерения исследуемых показателей считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования было установлено следующее. Сравниваемые между собой растения находились практически в одинаковых условиях. Рельеф местности был ровным, освещенность, температура, влажность были одинаковыми. Состав почвы на всех исследуемых площадях по таким показателям, как гумусность, влажность, концентрация ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , pH существенно не отличался. Было установлено, что почвенные образцы со всех исследуемых точек имели кубовидную комковато-ореховатую структуру, по механическому составу – тяжелосуглинистые, из новообразований содержали лишь растительные остатки. Все исследуемые почвенные образцы имели слабощелочную среду, не содержали ионов Cl^- и SO_4^{2-} , но в них присутствовали ионы Ca^{2+} в количестве 1-0,1 мг/100 мл водной вытяжки (слабокарбонатные) [8].

Кроме того, для исключения возможности влияния каких-либо почвенных факторов, исследование которых не представляется возможным, нами проведен биотест, результаты которого оказались следующими. Длина проростков кресс-салата, выращенных на исследуемых почвенных образцах, практически не различалась (табл. 1). Статистически достоверные изменения отсутствовали. Следовательно, различия в росте и фотосинтетической активности клена ясенелистного на разном удалении от ЛЭП не обусловлены различием состава почвы, а зависят от интенсивности электромагнитного поля.

Следовательно, различия в росте и фотосинтетической активности клена ясенелистного на разном удалении от ЛЭП не обусловлены различием состава почвы, а зависят от интенсивности электромагнитного поля.

Длина и ширина листьев клена на разном удалении от ЛЭП-110 кВ менялись следующим образом. Непосредственно под ЛЭП статистически достоверные изменения длины листьев отсутствовали, но на отрезках 15-30 м, 60-90 м, 120 м и 165-210 м значение данного параметра достоверно превышало контрольные замеры (табл. 2).

Таблица 1

Изменение длины проростков кресс-салата на образцах почвы, взятых на различных расстояниях от ЛЭП-110 кВ

ΔL , м	Высота проростков, мм
0	15,00±0,55
15	15,40±0,51
30	14,20±0,20
45	15,20±0,20
60	15,00±0,71
75	14,20±0,20
90	15,00±0,45
105	14,80±0,49
120	14,60±0,87
135	15,20±0,58
150	15,00±0,32
165	15,20±0,37
180	14,60±0,40
195	15,20±0,66
210	14,80±0,37
1000	15,00±0,32

Примечание. ΔL – расстояние от ЛЭП-110 кВ.

Стоит отметить, что данная тенденция к увеличению длины листьев имела место по всем трем листочкам, входящим в состав сложного листа *Acer negundo* L. Таким образом, электромагнитное поле ЛЭП оказывало влияние на длину листьев исследуемого растения в сторону ее значительного увеличения (табл. 2). Тенденция изменения данного морфометрического показателя имеет вид синусоиды.

Таблица 2

**Изменение морфометрических параметров листьев *Acer negundo* L.
под действием ЛЭП-110 кВ**

ΔL , м	1 лист		2 лист	
	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм
	$X \pm m_x$		$X \pm m_x$	
0	78,73 $\pm$ 1,47	44,60 $\pm$ 1,49*	70,93 $\pm$ 1,44	31,80 $\pm$ 0,85*
15	88,53 $\pm$ 1,59*	54,60 $\pm$ 1,87	80,80 $\pm$ 1,00*	38,67 $\pm$ 0,95
30	85,60 $\pm$ 2,21*	59,73 $\pm$ 1,42*	76,07 $\pm$ 2,16*	41,40 $\pm$ 1,25*
45	79,07 $\pm$ 2,74	52,07 $\pm$ 1,02	72,80 $\pm$ 3,55	40,20 $\pm$ 1,66
60	86,33 $\pm$ 1,82*	50,60 $\pm$ 1,15	77,93 $\pm$ 2,06*	38,13 $\pm$ 1,29
75	98,13 $\pm$ 2,22*	40,20 $\pm$ 1,42*	92,47 $\pm$ 2,34*	34,73 $\pm$ 1,51
90	94,40 $\pm$ 2,73*	47,07 $\pm$ 1,51*	82,53 $\pm$ 2,35*	39,13 $\pm$ 0,81
105	80,60 $\pm$ 1,92	46,27 $\pm$ 1,41*	74,67 $\pm$ 1,95	41,20 $\pm$ 1,41*
120	86,00 $\pm$ 2,04*	45,47 $\pm$ 1,15*	79,60 $\pm$ 1,94*	36,53 $\pm$ 0,99
135	83,60 $\pm$ 2,03*	51,20 $\pm$ 1,55	72,93 $\pm$ 1,79	35,27 $\pm$ 2,36
150	77,93 $\pm$ 2,33	46,27 $\pm$ 1,13*	72,67 $\pm$ 1,77	35,87 $\pm$ 1,19
165	87,80 $\pm$ 1,67*	50,80 $\pm$ 1,16	76,20 $\pm$ 1,34*	37,20 $\pm$ 1,16
180	84,53 $\pm$ 1,98*	46,93 $\pm$ 1,81*	77,27 $\pm$ 2,97*	36,27 $\pm$ 1,00
195	89,40 $\pm$ 2,42*	54,67 $\pm$ 2,30	83,33 $\pm$ 2,64*	40,93 $\pm$ 1,46*
210	89,00 $\pm$ 1,92*	46,21 $\pm$ 1,41*	82,71 $\pm$ 1,71*	35,57 $\pm$ 1,02
1000	75,87 $\pm$ 2,07	53,47 $\pm$ 1,20	69,33 $\pm$ 2,12	37,47 $\pm$ 0,69

Примечание. * – отличие от контроля достоверны для $p < 0,05$; ΔL – расстояние от ЛЭП-110 кВ.

Величина ширины листьев клена изменялась иначе. Непосредственно под ЛЭП-110 кВ наблюдалось статистически достоверное уменьшение данного показателя по сравнению с контрольными значениями (табл. 2). Затем, на 35-метровом удалении от ЛЭП ширина образцов возросла и превысила контроль. Далее ширина листьев клена уменьшалась и на отрезке 90-120 м от ЛЭП стала достоверно меньше контрольных замеров. Следует отметить, что наибольшим колебаниям ширины был подвержен 1-й лист в составе сложного листа *Acer negundo* L. Для него наблюдалось достоверное снижение данного параметра на отрезке 150-210 метров от ЛЭП, тогда как для 2-го листочка в составе сложного листа достоверных отличий от контроля на указанном отрезке не имелось (табл. 2). В целом электромагнитное поле угнетало развитие листовой пластинки в ширину непосредственно под ЛЭП-110 кВ и на удалении 105 м при одновременной стимуляции данного показателя в точке 30 м (табл. 2).

На следующем этапе нашего эксперимента была проанализирована концентрация фотосинтетических пигментов в листьях клена ясенелистного на разном удалении от ЛЭП-110 кВ [7].

Во всех исследованных образцах были обнаружены хлорофилл а, хлорофилл b и каротиноиды, причем уровень каротиноидов превышал количество хлорофилла обоих типов, из которых преобладал хлорофилл а (табл. 3). Изменение концентрации всех пигментов фотосинтеза под действием ЛЭП имело сходную волнообразную зависимость.

Непосредственно под ЛЭП-110 кВ и вблизи ее концентрация хлорофилла а и хлорофилла b в листьях *Acer negundo* L. была достоверно меньше по сравнению с контрольными замерами (табл. 3). Далее на отрезке 45-60 м от ЛЭП имело место значительное увеличение содержания хлорофилла обоих типов в исследуемых образцах, причем для хлорофилла b отличие от контроля статистически достоверно. Затем наблюдалась тенденция к повторному понижению концентрации пигментов: для хлорофилла а – отрезок 75-105 м, для хлорофилла b – участок 60-105 м от ЛЭП-110 кВ (табл. 3). Также установлено последующее увеличение количества пигментов на отрезке 120-150 м, сменяющееся новым понижением концентрации хлорофилла в точке 165 м. После чего количество пигментов увеличилось и приблизилось к контрольным значениям.

Таблица 3

**Изменение концентрации пигментов в листьях *Acer negundo* L.
в зоне влияния ЛЭП-110 кВ**

ΔL , м	Хлор. а, мг/л	Хлор. b, мг/л	Каротиноиды, мг/л
0	0,467±0,019	0,239±0,012*	0,637±0,010
15	0,437±0,019*	0,274±0,012*	0,626±0,029
30	0,448±0,009*	0,248±0,017*	0,644±0,021
45	0,546±0,019	0,411±0,012*	0,673±0,029
60	0,612±0,037	0,212±0,024*	0,826±0,059*
75	0,488±0,009	0,208±0,017*	0,659±0,012
90	0,476±0,028	0,256±0,007*	0,682±0,037
105	0,438±0,028*	0,253±0,007*	0,594±0,033
120	0,542±0,028	0,287±0,007	0,718±0,051
135	0,548±0,027	0,368±0,029	0,689±0,013
150	0,508±0,009	0,387±0,017*	0,624±0,012
165	0,435±0,018*	0,317±0,034	0,493±0,000*
180	0,537±0,018	0,395±0,034	0,633±0,000
195	0,580±0,019	0,290±0,012	0,757±0,034*
210	0,522±0,027	0,297±0,029	0,724±0,032
1000	0,521±0,019	0,318±0,012	0,620±0,043

Примечание. * – отличие от контроля достоверны для $p < 0,05$; ΔL – расстояние от ЛЭП-110 кВ.

Таким образом, действие электромагнитного поля ЛЭП-110 кВ привело к волнообразному изменению концентрации хлорофилла а и хлорофилла b в листьях *Acer negundo* L. Причем минимальное значение концентрации пигментов, имеющее место вблизи ЛЭП, а также на расстоянии 105 м, 165 м для хлорофилла а и на отрезке 60-105 м для хлорофилла b, практически не отличаются.

Варьирование концентрации каротиноидов в целом имело аналогичную тенденцию (табл. 3). Стоит отметить, что во всех исследуемых точках количество каротиноидов было значительно больше, чем хлорофилла.

Непосредственно под ЛЭП-110 кВ и вблизи ее концентрация каротиноидов практически не отличалась от контрольных значений, но на расстоянии 60 м от ЛЭП имело место значительное, статистически достоверное увеличение уровня данного показателя (максимальное значение) (табл. 3). Далее наблюдалось волнообразное изменение концентрации этих веществ, выраженное в снижении количества каротиноидов в точках 105 м и 165 м (минимальное значение) и росте их содержания на расстоянии 195 м от ЛЭП. После чего показатели опытных образцов практически не отличались от контроля.

Таким образом, можно отметить общую тенденцию изменения концентрации пигментов фотосинтеза в листьях *Acer negundo* L. под действием электромагнитного поля ЛЭП-110 кВ: некоторое снижение концентрации вблизи ЛЭП, а также в точках 105 м и 165 м и повышение количества пигментов на расстоянии 45-60 м от линии электропередачи (табл. 3).

Выводы

1. Воздействие электромагнитного излучения ЛЭП-110 кВ вызвало увеличение длины листьев *Acer negundo* L., по сравнению с контролем, на отрезках 15-30, 60-90, 120 и 165-210 метров от места прохождения линии электропередачи. Тенденция изменения данного морфометрического показателя имеет вид синусоиды.

2. Ширина листьев *Acer negundo* L. была достоверно меньше контрольных замеров непосредственно под ЛЭП-110 кВ и на отрезке 90-120 м от нее при одновременном увеличении данного показателя на расстоянии 35 м от места прохождения линии электропередачи.

3. Концентрация хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов в исследуемых образцах изменялась волнообразно: отмечено некоторое снижение концентрации вблизи ЛЭП-110 кВ, а также в точках 105 м и 165 м и повышение количества пигментов на расстоянии 45-60 м от линии электропередачи.

4. Различия в росте и фотосинтетической активности клена ясенелистного на разном удалении от ЛЭП-110 кВ не были обусловлены различием состава почвы вследствие отсутствия такового, а зависели от интенсивности электромагнитного поля.

Литература

- [1] Magnetic field sensitivity in animals / J.L. Gould // *Annu. Rev. Physiol.* – 1984. – V. 46. – P. 585-598.
- [2] Регламентация ЭМП от систем мобильной радиосвязи. Состояние и обоснование / Ю.Г. Григорьев [и др.] // *Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование: тез. докл. Международ. совещ. М., 1998.* – с. 68.
- [3] Холодов, Ю.А. Минуя органы чувств? / Ю.А. Холодов. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
- [4] Сподобаев, Ю.М. Основы электромагнитной экологии / Ю.М. Сподобаев. – М.: Радио и связь, 2000. – 239 с.
- [5] Подковкин, В.Г. Влияние электромагнитных полей окружающей среды на системы гомеостаза / В.Г. Подковкин, И.Л. Слободянюк, М.В. Углова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2000. – 108 с.
- [6] Пресман, А.С. Электромагнитные поля и живая природа / А.С. Пресман. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
- [7] Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков [и др.] // М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
- [8] Кавеленова, Л.М. Науки о Земле. Практикум по курсу «Почвоведение с основами геологии»: учебное пособие / Л.М. Кавеленова, Н.В. Прохорова. – Самара, 2001. – 64 с.
- [9] Фролов, Ю.П. Математические методы в биологии. ЭВМ и программирование: Теоретические основы и практикум / Ю.П. Фролов. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 1997. – 265 с.

Статья поступила в редакцию 26/XII/2006;
в окончательном варианте – 26/XII/2006.

**110 KV TRANSMISSION LINE'S ELECTROMAGNETIC
FIELD EFFECT ON MORFOLOGICAL ACTIVITIE'S
AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENT'S CONCENTRACION
IN THE MAPLE *ACER NEGUNDO L.*³**

© 2007 E.A. Novitchkova, V.G. Podkovkin⁴

In the paper the questions connected with the analysis of high-voltage power line's electromagnetic field effect on the growth's dynamic and pigment's concentration in maple's tissues in a zone of its accommodation are considered. Some research's results in area 110 kV power line's passage near to settlement Bogatoye of the Samara region are presented.

Paper received 26/XII/2006.

Paper accepted 26/XII/2006.

³ Communicated by Dr. Sci. (Biology) Prof. S.A. Satchkov.

⁴ Novitchkova Elena Anatolievna (novitchkova@rambler.ru), Podkovkin Vladimir Georgievitch (podkovkin@rambler.ru), Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.