

DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-4-441-448

УДК 504.75.05:581.1

Действие электромагнитного поля низкой частоты на флуктуирующую асимметрию древесных растений

В.И. Полонский^{1,3}, А.В. Сумина²

¹ Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, Красноярск, пр. Мира, 90

² Хакасский государственный университет имени Н.В. Катанова
Российская Федерация, Республика Хакасия, 655017, Абакан, ул. Ленина, 90

³ Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

В статье анализируется влияние экологических факторов физической и химической природы на показатели стабильности развития трех видов древесных растений: сирени обыкновенной, яблони сибирской, березы повислой. Определение величины индекса флуктуирующей асимметрии (ФА) по ширине двух половин листьев выполнялось на растениях, произрастающих в зеленой зоне (контроль), в зеленой зоне под высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП 220 кВ) (физический фактор, опыт 1), а также в г. Красноярске в условиях загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами автомобилей (химический фактор, опыт 2). Значения индекса ФА сирени обыкновенной и яблони сибирской, определенные для контрольных вариантов, составили 0,024 и 0,028, а рассчитанные для опытов 1 и 2 — 0,032 и 0,039, 0,029 и 0,030 соответственно. Установлено, что выражающиеся в появлении асимметрии листа ответные реакции сирени обыкновенной и яблони сибирской на физический экологический фактор — электромагнитное излучение промышленной частоты — проявляются сильнее по сравнению с реакциями на химический фактор — выхлопные газы автомобилей. Показано, что величины индексов ФА яблони сибирской и сирени обыкновенной могут выступать чувствительным показателем при выполнении мониторинга антропогенной нагрузки на окружающую среду в виде переменного электромагнитного поля промышленной частоты. Индекс ФА березы повислой, рассчитанный путем измерения ширины правой и левой половин листа, является менее чувствительным показателем, чем в случае с сиренью обыкновенной и яблоней сибирской.

Ключевые слова: яблоня сибирская; сирень обыкновенная; береза повислая; лист; ширина; асимметрия; линии электропередачи; автомобильные выбросы

Введение

Сегодня в результате активной антропогенной деятельности уровень негативного влияния химических и физических факторов на состояние окружающей

© Полонский В.И., Сумина А.В., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

среды не снижается. В числе действующих физических экологических факторов можно выделить электромагнитное поле, которое представлено главным образом высокочастотным (сотовая связь) и низкочастотным (линии электропередачи высокого напряжения) излучением. Высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) относятся к одним из самых распространенных источников электромагнитного излучения.

Влияние электромагнитного поля на процессы роста и развития растений с позиций возможных физиологических и биохимических реакций представлено в обзоре [1]. Показано, что электромагнитное загрязнение среды ухудшает состояние флоры и фауны в природных и селитебных ландшафтах [2]. Электромагнитное поле от линии электропередачи высокого напряжения может отрицательно воздействовать на физиологическое состояние растений [3; 4], урожайность сельскохозяйственных культур [5], способно индуцировать генотоксический эффект у растений [6].

Одной из основных проблем современной биологической науки является оценка безопасности окружающей среды с точки зрения общественного здравоохранения. В ее решении может быть полезным установление стандарта безопасности для окружающей среды по химическому и физическому факторам, основываясь на биологическом маркере. При этом целесообразно использовать показатель, имеющий связь с функциональным состоянием организма и обладающий универсальной чувствительностью к различным экологическим факторам. Таким показателем может служить индекс флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев [7–10], который используется на практике при биоиндикации антропогенной нагрузки на окружающую среду [11]. На сегодняшний день вопросам воздействия переменного электромагнитного поля промышленной частоты на ФА растений посвящены лишь единичные исследования [12–14].

Целью работы является определение индекса ФА древесных растений, произрастающих под высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП 220 кВ) и в условиях загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами автомобилей.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны растения яблони сибирской (*Malus baccata*), сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*) и березы повислой (*Betula pendula*), произрастающие на различных по степени загрязнения среды участках. В контроле и опыте 1 растения находились в условиях пригородной зеленой зоны г. Красноярска (район Николаевской сопки) и были лишены негативного влияния химического фактора. Опыт 1 представлен участком, расположенным непосредственно под ЛЭП 220 кВ, а контроль — участком, отстоящим не менее чем на 100 м от ЛЭП 220 кВ. Как известно из литературы, на таком расстоянии распространение магнитного и электрического полей высоковольтных ЛЭП практически затухает [13]. Опыт 2 представлен территориями, находящимися под влиянием химического фактора (выхлопных газов автомобилей) вдоль дорог г. Красноярска (улица К. Маркса, проспект Свободный, улица Маерчака). Для оценки

уровня загрязненности указанных городских участков подсчитывалось количество автомобилей, проходящих по ним за 1 час, с 16:00 до 17:00 часов в будние дни в октябре — ноябре 2014 г. Учет автомашин выполнен, руководствуясь подходом, описанным М.В. Неустроевой [15].

На каждом исследуемом участке для определения реакции яблони, сирени и березы на физическое или химическое загрязнение окружающей среды учитывали не менее 100 шт. листьев на нижней части кроны у 5—10 растений каждого вида. Для этого собирали полностью сформированные листья в конце августа — сентябре 2014 г. В условиях лаборатории на листовых пластинках делали промеры одного из пяти стандартных метрических билатеральных признаков — ширины левой и правой половин листа. Как известно, данный показатель часто применяется для вычисления индекса ФА листьев [9; 10]. Согласно стандартной методике [11], на листовой пластинке ровно посередине измеряли ширину двух половин листа. Указанную операцию выполняли линейкой с точностью 0,5 мм.

Индекс флуктуирующей асимметрии отдельного листа, который характеризовал асимметричность собственно листовой пластинки за счет различий в размерах ее половин, выражали как отношение разности значений ширины левой и правой половин листа к их сумме [11].

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами с помощью стандартной компьютерной программы Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали, используя *t*-критерий Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

В таблице представлены результаты выполненных измерений ширины листьев трех видов древесных растений, произрастающих на участках, различающихся по загрязненности физическим и химическим факторами. Видно, что в пределах каждого варианта опыта ширина левой и правой сторон листовой пластинки достоверно не различаются. Последнее свидетельствует об отсутствии направленной асимметрии листьев яблони, сирени и березы. Следовательно, в условиях контроля и опытов регистрируется флуктуирующая асимметрия листа, величину индекса которой возможно применять в биоиндикации при мониторинге качества окружающей среды.

Как видно из данных таблицы, величины индекса ФА используемых в работе видов растений, произрастающих в условиях контроля, ниже по сравнению с опытными вариантами. Другими словами, исследуемые физический и химический факторы среды отрицательно влияют на стабильность развития изучаемых древесных видов. При этом негативное действие электромагнитного поля на ФА яблони и сирени оказалось существенным. Полученный в настоящей работе эффект совпадает с отмеченным нами ранее результатом для ивы козьей, находящейся под ЛЭП 220 кВ [30], а также с имеющимися в литературе данными для сои, растущей под ЛЭП 675 кВ [13]. В случае с березой влияние указанного физического фактора в наших экспериментах статистически доказано не было.

Таблица

Индекс флуктуирующей асимметрии листьев яблони сибирской, сирени обыкновенной и березы повислой, произрастающих в условиях физического (электромагнитное поле) и химического (выхлопные газы автомобилей) загрязнения среды

Вид растения	Вариант опыта	Условия опыта	Ширина половины листа, мм		Индекс ФА	Количество листьев, взятых для анализа
			левая	правая		
Яблоня сибирская	Контроль	Зеленая зона	21,97 ± 0,28	21,97 ± 0,30	0,028 ± 0,002 а*	117
	Опыт 1	Зеленая зона, ЛЭП 220 кВ	20,50 ± 0,21	20,71 ± 0,21	0,039 ± 0,002 б	224
	Опыт 2	Город, 3708 автомобилей в час	26,43 ± 0,34	26,24 ± 0,32	0,030 ± 0,002 а	100
Сирень обыкновенная	Контроль	Зеленая зона	26,67 ± 0,37	26,69 ± 0,34	0,024 ± 0,002 а	125
	Опыт 1	Зеленая зона, ЛЭП 220 кВ	29,10 ± 0,44	28,89 ± 0,42	0,032 ± 0,002 б	125
	Опыт 2	Город, 3062 автомобилей в час	27,23 ± 0,34	27,48 ± 0,32	0,029 ± 0,002 б	151
Береза повислая	Контроль	Зеленая зона	18,43 ± 0,29	18,50 ± 0,28	0,033 ± 0,003 а	193
	Опыт 1	Зеленая зона, ЛЭП 220 кВ	16,92 ± 0,29	17,12 ± 0,28	0,037 ± 0,003 а	110
	Опыт 2	Город, 1328 автомобилей в час	19,52 ± 0,32	19,17 ± 0,33	0,038 ± 0,003 а	100

* средняя арифметическая величина и ошибка средней, значения в строках с разными буквами различаются существенно между собой в пределах одного вида растений по t-критерию при $p \leq 0,05$.

Table

The index of fluctuating asymmetry of leaves of an apple-tree, the lilac and birch growing in the conditions of physical (electromagnetic field) and chemical (combustion gases of cars) of pollution of the environment

Species of a plant	Experience option	Experimental conditions	Width of a half of a leaf, mm		Fluctuating asymmetry index	Number of the leaves taken for the analysis
			left	right		
Malus baccata	Monitoring	Green zone	22,0 ± 3,02	22,0 ± 3,24	0,028 ± 0,022	117
	Test 1	Green zone, power lines, 220 kV	20,5 ± 3,15	20,7 ± 3,15	0,039 ± 0,030*	224
	Test 2	City, 3708 cars an hour	26,4 ± 3,40	26,2 ± 3,20	0,030 ± 0,020	100
Syringa vulgaris	Monitoring	Green zone	26,7 ± 4,14	26,7 ± 0,34	0,024 ± 0,022 а	125
	Test 1	Green zone, power lines, 220 kV	29,1 ± 0,44	28,9 ± 4,70	0,032 ± 0,022*	125
	Test 2	City, 3062 cars an hour	27,2 ± 4,18	27,5 ± 3,93	0,029 ± 0,025*	151
Betula pendula	Monitoring	Green zone	18,4 ± 4,03	18,5 ± 3,89	0,033 ± 0,042	193
	Test 1	Green zone, power lines, 220 kV	16,9 ± 3,04	17,1 ± 2,94	0,037 ± 0,031	110
	Test 2	City, 1328 cars an hour	19,5 ± 3,20	19,2 ± 3,30	0,038 ± 0,030	100

* average arithmetic size and its standard deviation; values with an asterisk differ significantly from monitoring within one plant species by t-criterion at $p \leq 0,05$.

Нужно отметить существование более значительной асимметрии листьев у яблони и сирени при воздействии на них физического фактора, чем химического. Как показано в литературе, влияние химического фактора может усиливаться под действием физического фактора [16]. Возможно, поэтому негативный эффект химического отравления автомобильными выбросами растений, зарегистрированный в настоящей работе по величине индекса ΦA , оказался в большинстве случаев слабее, чем воздействие рассматриваемого физического фактора — электромагнитного излучения.

Заключение

Установлено, что степень варьирования ширины правой и левой половин листьев (величина индекса ΦA) яблони сибирской и сирени обыкновенной может выступать чувствительным показателем при биоиндикации антропогенной нагрузки на окружающую среду в виде электромагнитного поля промышленной частоты. Отмечено большее возрастание асимметрии листа при воздействии на эти два вида растений электромагнитного излучения, чем при загрязнении атмосферы автомобильными выбросами. Индекс ΦA березы повислой, измеренный по ширине правой и левой половин листа, является менее чувствительным показателем, поэтому использовать его для оценки антропогенной нагрузки на окружающую среду нецелесообразно.

Список литературы

- [1] *Silva J.A., Dobránszki J.* Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // *Protoplasma*. 2015. No. 5. Pp. 1—18.
- [2] *Цугленок Н.В., Демиденко Г.А., Фомина Н.В., Котенева Е.В., Мальцева М.Л.* Оценка влияния электромагнитного излучения на природные и селитебные экосистемы // *Вестник КрасГАУ*. 2014. № 6. С. 170—175.
- [3] *Шашурин М.М., Прокопьев И.А., Шеин А.А., Филиппова Г.В., Журавская А.Н.* Ответная реакция подорожника среднего на действие электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) // *Физиология растений*. 2014. Т. 61. № 4. С. 517—524.
- [4] *Dattilo A.M., Bracchini L., Loisele S.A., Ovidi E., Tiezzi A., Rossi C.* Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field // *Bioelectromagnetics*. 2005. Vol. 26. No. 2. Pp. 153—156.
- [5] *Soja G., Kunsch B., Gerzabek M., Reichenauer T., Soja A.-M., Rippar 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. No. 2. Pp. 91—102.
- [6] *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. No. 6. Pp. 585—591.
- [7] *Калаев В.Н., Игнатова И.В., Третьякова В.В., Артюхов В.Г., Савко А.Д.* Биоиндикация загрязнения районов г. Воронежа по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Химия, биология, фармация. 2011. № 2. С. 168—175.
- [8] *Мандра Ю.А., Еременко Р.С.* Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Кисловодска на основе анализа флуктуирующей асимметрии // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т. 12. № 1(8). С. 1990—1994.

- [9] *Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J.* Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // *Journal of Applied Ecology.* 1996. Vol. 33. No. 6. Pp. 1489–1495.
- [10] *Zhang H., Wang X.* Leaf developmental stability of *Platanus acerifolia* under urban environmental stress and its implication as an environmental indicator // *Frontiers of Biology in China.* 2006. Vol. 1. No. 4. Pp. 411–417.
- [11] Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: распоряжение Росэкологии от 16 октября 2003 г. № 460-р. Москва, 2003. 24 с.
- [12] *Баранов С.Г.* Влияние высоковольтных линий на флуктуирующую асимметрию березы повислой // *Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика. Долголетие.* 2014. № 1. С. 76–80.
- [13] *Freeman D.C., Graham J.H., Tracy M., Emlen J.M., Alados C.L.* Developmental Instability as a Means of Assessing Stress in Plants: A Case Study Using Electromagnetic Fields and Soybeans // *International Journal of Plant Sciences.* 1999. Vol. 160. No. S6. Pp. S157–S166.
- [14] *Полонский В.И.* Влияние линий электропередачи на флуктуирующую асимметрию ивы козьей // *Вестник КрасГАУ.* 2018. № 6. С. 234–238.
- [15] *Неустроева М.В.* Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов: мониторинг, оценка качества компонентов окружающей среды // Красноярский гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. Красноярск, 2006. 372 с.
- [16] *Селезнева Е.М., Анисимов В.С., Гончарова Л.И., Анисимова Л.Н., Белова Н.В.* Влияние свинца и ультрафиолетового излучения на продуктивность растений и накопление металла в зерне ярового ячменя // *Агрехимия.* 2005. № 5. С. 82–86.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 21.12.2018

Дата принятия к печати: 27.12.2018

Для цитирования:

Полонский В.И., Сумина А.В. Действие электромагнитного поля низкой частоты на флуктуирующую асимметрию древесных растений // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2018. Т. 26. № 4. С. 441–448. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-4-441-448

Сведения об авторах:

Полонский Вадим Игоревич — доктор биологических наук, профессор Красноярского государственного аграрного университета, профессор Сибирского федерального университета. ORCID iD: 0000-0002-7183-0912. *Контактная информация:* e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Сумина Алена Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и геоэкологии Хакасского государственного университета имени Н.Ф. Катанова. *Контактная информация:* e-mail: alenasumina@list.ru

The effect of low frequency electromagnetic fields on fluctuating asymmetry of woody plants

V.I. Polonskiy^{1,3}, A.V. Sumina²

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University
90 Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

² Katanov Khakass State University
90 Lenin St., Abakan, 655017, Republic of Khakassiya, Russian Federation

³ Siberian Federal University
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

The paper analyzes the impact of environmental factors of physical and chemical nature on the stability of the development of three species of woody plants: common lilac, Siberian apple tree, birch tree. Determining the value of the fluctuating asymmetry index (FA) over the width of two halves of leaves was performed on plants growing in the suburban green area (control), in the suburban green area under high-voltage power lines of 220 kV (physical factor, experiment 1), as well as in the city of Krasnoyarsk in terms of air pollution by exhaust gases of cars (chemical factor, experiment 2). The values of the FA index of common lilac and Siberian apple tree, defined for the control variants, were 0.024 and 0.028, and calculated for experiments 1 and 2 were respectively equal to 0.032 and 0.039; 0.029 and 0.030. It is established that the response of common lilac and Siberian apple trees to the physical environmental factor — electromagnetic radiation of industrial frequency — which is expressed in the appearance of leaf asymmetry is stronger in comparison with the reaction to the chemical factor — exhaust gases of cars. It is shown that the value of the FA index of Siberian apple tree and common lilac can be a sensitive indicator when monitoring the anthropogenic load on the environment in the form of an alternating electromagnetic field of industrial frequency. The FA index of the birch tree, measured on the basis of the width of the right and left halves of the leaf, is less sensitive than in the case of the common lilac and the Siberian apple tree.

Keywords: common lilac; Siberian apple tree; birch tree; leaf; width; asymmetry; power lines; automobile emissions

References

- [1] Silva JA, Dobránszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*. 2015;5: 1–18.
- [2] Tsuglenok NV, Demidenko GA, Fomina NV, Koteneva EV, Maltseva ML. Assessment of the impact of an electromagnetic radiation on natural and residential ecosystems. *The Messenger of KRASGAU*. 2014;6: 170–175.
- [3] Shashurin MM, Prokopyev IA, Shane AA, Filippova GV, Zhuravskaya AN. Response of a plantain of an average to action of an electromagnetic field of industrial frequency (50 Hz). *Physiology of plants*. 2014;61(4): 517–524.
- [4] Dattilo AM, Bracchini L, Loiselle SA, Ovidi E, Tiezzi A, Rossi C. Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 2005;26(2): 153–156.
- [5] Soja G, Kunsch B, Gerzabek M, Reichenauer T, Soja A-M, Rippa G, Bolhár-Nordenkamp HR. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line. *Bioelectromagnetics*. 2003;24(2): 91–102.
- [6] 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;20(6): 585–591.

- [7] Kalayev VN, Ignatova IV, Tretyakova VV, Artyukhov VG, Savko AD. Bioindikation of pollution of districts of Voronezh in size of fluctuating asymmetry of a sheet plate of a birch povisly. *The Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy.* 2011;2: 168—175.
- [8] Mantra YuA, Eremenkor C. Bioindicator assessment of state of environment of the city of Kislovodsk on the basis of the analysis of fluctuating asymmetry. *News of the Samara Scientific Center RAS.* 2010;12(1—8): 1990—1994.
- [9] Kozlov MV, Wilsey BJ, Koricheva J. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact. *Journal of Applied Ecology.* 1996;33(6): 1489—1495.
- [10] Zhang H, Wang X. Leaf developmental stability of *Platanus acerifolia* under urban environmental stress and its implication as an environmental indicator. *Frontiers of Biology in China.* 2006;1(4): 411—417.
- [11] Methodical recommendations about realization of evaluation test of the environment about a condition of living beings: Rosekologiya's order of October 16, 2003 No. 460-r. Moscow; 2003.
- [12] Baranov SG. Influence of high-voltage lines on fluctuating asymmetry of a birch povisly. *Life without dangers. Health. Prophylaxis. Longevity.* 2014;1: 76—80.
- [13] Freeman DC, Graham JH, Tracy M, Emlen JM, Alados CL. Developmental Instability as a Means of Assessing Stress in Plants: A Case Study Using Electromagnetic Fields and Soybeans. *International Journal of Plant Sciences.* 1999;160(6): 157—166.
- [14] Polonsky VI. Influence of power line on fluctuating asymmetry of a willow goat. *Messenger of KRASGAU.* 2018;6: 234—238.
- [15] Neustroyeva MV. Assessment of an ecological condition of natural and territorial complexes: monitoring, evaluation test of components of a surrounding medium. *The Krasnoyarsk State Ped. University of V.P. Astafyev.* Krasnoyarsk; 2006.
- [16] Seleznyova EM, Anisimov VS, Goncharova LI, Anisimova LN, Belova NV. Influence of lead and ultra-violet radiation on efficiency of plants and accumulation of metal in seed of summer barley. *Agrochemistry.* 2005;5: 82—86.

Article history:

Received: 21.12.2018

Revised: 27.12.2018

For citation:

Polonskiy VI, Sumina AV. The effect of low frequency electromagnetic fields on fluctuating asymmetry of woody plants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2018;26(4): 441—448. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-4-441-448

Bio Note:

Vadim I. Polonsky — Doctor of Biological Science, Professor of the Krasnoyarsk State Agricultural University, Professor of Siberian Federal University. ORCID iD: 0000-0002-7183-0912. *Contact information:* e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Alena V. Sumina — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Chemistry and Geoecology of the Katanov Khakass State University. *Contact information:* e-mail: alenasumina@list.ru