

стого покрова и низкорослых кустарников, так как они в первую очередь подвержены механическим повреждениям.

5. На обследованной территории необходим регулярный уход за живыми изгородями (в первую очередь – полив).

Литература

1. Будаев Х.Р. Леса зеленой зоны и озеленение городов и сел Бурятии. – Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1985. – 152 с.
2. Бухарина И.Л. Биоэкологические особенности древесных растений и обоснование их использования в целях экологической оптимизации урбаноcреды (на примере г. Ижевска): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Тольятти, 2009. – 36 с.
3. Воробьева А.А., Имескенова Э.Г., Корсунова Т.М. К вопросам инвентаризации зелёных насаждений города Улан-Удэ // Аграрная наука – сельскому хозяйству: мат-лы XII междунар. науч.-практ. конф: в 3 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. – Кн. 2. – С. 411–413.
4. Демиденко Г.А., Бессмольная М.Я., Поломошнова Н.Ю. Анализ цветочного оформления городской среды (на примере города Улан-Удэ) // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 44–48.
5. Иевская А.А., Корсунова Т.М., Имескенова Э.Г. Оценка текущего состояния древесно-кустарниковой растительности скверов г. Улан-Удэ // Современные технологии в агрономии, лесном хозяйстве и приемы регулирования плодородия почв: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к 65-летию

- агрономического факультета Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2017. – С. 78–85.
6. Котляр М.Я., Корсунова Т.М., Поломошнова Н.Ю. Экологические особенности озеленения населенных пунктов Западного Забайкалья / Бурят. гос. с.-х. акад. им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2012. – 120 с.

Literatura

1. Budaev H.R. Lesa zelenoj zony i ozelenenie gorodov i sel Burjatii. – Ulan-Udje: Burjat. kn. izd-vo, 1985. – 152 s.
2. Buharina I.L. Bioekologicheskie osobennosti drevesnyh rastenij i obosnovanie ih ispol'zovanija v celjah jekologicheskoj optimizacii urbanosredy (na primere g. lzhevskaja): avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. – Tol'jatti, 2009. – 36 s.
3. Vorob'eva A.A., Imeskenova Je.G., Korsunova T.M. K voprosam inventarizacii zeljonyh nasazhdenij goroda Ulan-Udje // Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu: mat-ly XII mezhdunar. nauch.-prakt. konf: v 3 kn. – Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 2017. – Kn. 2. – S. 411–413.
4. Demidenko G.A., Bessmol'naja M.Ja., Polomoshnova N.Ju. Analiz cvetochного оформления городской среды (na primere goroda Ulan-Udje) // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 6. – S. 44–48.
5. Ievskaja A.A., Korsunova T.M., Imeskenova Je.G. Ocenka tekushhego sostojanija drevesno-kustarnikovoј rastitel'nosti skverov g. Ulan-Udje // Sovremennye tehnologii v agronomii, lesnom hozjajstve i priemy regulirovanija plodorodija pochv: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf., priurochennoj k 65-letiju agronomicheskogo fakul'teta Burjatskoј GSXA im. V.R. Filippova. – Ulan-Udje, 2017. – S. 78–85.
6. Kotljар M.Ja., Korsunova T.M., Polomoshnova N.Ju. Jekologicheskie osobennosti ozelenenija naseleennyh punktov Zapadnogo Zabajkal'ja / Burjat. gos. s.-h. akad. im. V.R. Filippova. – Ulan-Udje, 2012. – 120 s.

УДК 504.75.05:581.1

В.И. Полонский

ВЛИЯНИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ФЛУКТУИРУЮЩУЮ АСИММЕТРИЮ ИВЫ КОЗЬЕЙ

V.I. Polonsky

THE INFLUENCE OF ELECTRIC TRANSMISSION LINES ON FLUCTUATING ASYMMETRY OF GOAT WILLOW

Полонский В.И. – д-р биол. наук, проф. каф. ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Polonsky V.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Landscape Architecture, Botany, Physiology Agroecology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Цель – определение индекса флуктуирующей асимметрии (ФА) растений ивы козьей, произрастающей под высоковольтными линиями электропередачи и на территориях, подвергнутых загрязнению атмосферного воздуха автомобильными выбросами. Растения про-

израстали на участке, расположенном под ЛЭП 220 кВ в пригородной зеленой зоне г. Красноярска в районе Николаевской сопки (опыт 1); на участке, находящемся под ЛЭП 500 кВ, в 25 км от Красноярска в районе железнодорожной станции Рябино (опыт 2) и на территории,

находящейся вдоль городской автодороги (опыт 3). Для оценки уровня загрязненности последней подсчитывалось количество автомобилей, проходящих по дороге за 1 час. Контроль 1 был представлен участком пригородной зоны, отстоящим более чем на 100 м от ЛЭП 220 кВ. В качестве контроля 2 был выбран участок, отстоящий более чем на 100 м от ЛЭП 500 кВ. У растений, произрастающих на указанных участках, измеряли ширину левой и правой сторон листа и вычисляли величину индекса ФА. Значения индекса ФА листьев ивы козьей, определенные для контрольных вариантов, составили 0,025–0,026, а рассчитанные для опытов 1–3 были соответственно равны 0,040; 0,047 и 0,034. Таким образом, степень варьирования ширины правой и левой половин листьев ивы козьей (величина индекса ФА) может выступать чувствительным показателем при выполнении методом биоиндикации мониторинга степени антропогенной нагрузки на окружающую среду в виде переменного электромагнитного поля промышленной частоты. Установлено, что выражающаяся в появлении асимметрии листа ответная реакция растений на физический экологический фактор – электромагнитное излучение промышленной частоты – проявляется сильнее по сравнению с химическим фактором – выхлопными газами автомобилей. Отмечена тенденция роста индекса ФА листьев при повышении величины электрического напряжения от 220 до 500 кВ.

Ключевые слова: ива козья, лист, ширина, асимметрия, линии электропередачи, автомобильные выбросы, биоиндикация.

The aim of the investigation is to determine the index of fluctuating asymmetry (FA) of goat's willow plants growing under high-voltage transmission lines and in areas subjected to pollution of atmospheric air by automobile emissions. The plants grew on the site located under 220 kV transmission line in suburban green zone of Krasnoyarsk in Nikolayevskaya Sopka area (experiment 1); at the section located under the 500 kV transmission line, 25 km from Krasnoyarsk near the Ryabinino railway station (experiment 2) and on the territory along the city road (experiment 3). To estimate the level of contamination of the latter, the number of cars passing along the road for 1 hour was calculated. Control 1 was represented by a section of suburban zone, located more than 100 m from 220 kV transmission line. As control the site which was more than 100 m from 500 kV transmission line was selected. In plants growing in these areas, the width of the left and right sides of the leaf was measured and index value of FA was calculated. The values of FA index of leaves of goat willow, determined for control variants, were 0.025–0.026, and the calculated ones for the experiments 1–3 were respectively 0.040, 0.047 and 0.034. Thus, the degree of variation of the width of the right and left half of the goat's willow leaves (the index value of FA) can be sensitive indicator when bioindication method is used to monitor the degree of anthropogenic load on the environment in the form of variable electromagnetic field of industrial frequency. It is established that the response of plants to physical ecological factor – electromagnetic field of the industrial frequency – expressed in the appearance of the asymmetry of the leaf, is manifested more strongly in comparison with the chemical factor – the exhaust gases of cars. The tendency of the growth of FA index of

leaves is noted with the increase of the electric voltage from 220 kV to 500 kV.

Keywords: goat willow, leaf, width, asymmetry, power lines, automobile emissions, bioindication.

Введение. Технологический прогресс сопровождается сегодня постепенным увеличением загрязнения окружающей среды как за счет различных химических, так и физических факторов. К последним экологическим факторам относится электромагнитное поле, которое представлено главным образом высокочастотным (сотовая связь) и низкочастотным (электропередачи высокого напряжения) излучением. На сегодняшний день одним из самых распространенных источников электромагнитного излучения являются линии электропередачи (ЛЭП).

Воздействие этого антропогенного фактора на экосистемы в общих чертах известно [1]. С одной стороны, в литературе продемонстрировано, что электромагнитное загрязнение среды ухудшает состояние флоры и фауны в природных и селитебных ландшафтах [2], отрицательно воздействует на урожайность зерновых культур [3], способно вызывать изменения физиолого-биохимических и цитологических характеристик у проростков подорожника [4], индуцировать генотоксический эффект у традесканции [5], а также отрицательно влиять на численность почвенных бактерий, микроскопических грибов, актиномицетов [6]. С другой стороны, установлено, что применение электромагнитного поля промышленной частоты для пробирочных растений кофе может улучшить качество рассады [7], заметно повысить поглощение аминокислот интактными корнями [8], стимулировать синтез липидов в клеточных мембранах у растений редьки [9].

Известно, что флуктуирующая асимметрия (ФА) растений является чувствительным показателем при биоиндикации антропогенной нагрузки на окружающую среду [10]. На сегодняшний день вопросам воздействия переменного электромагнитного поля промышленной частоты на величину ФА растений посвящены лишь единичные исследования [11, 12].

Цель работы. Определение индекса ФА растений ивы козьей, произрастающей под высоковольтными линиями электропередачи и при загрязнении атмосферного воздуха автомобильными выбросами. Другими словами, в работе проводится сравнение воздействия на растения неблагоприятных экологических факторов физической и химической природы.

Объект и методы исследования. В качестве объекта исследования служили растения ивы козьей, которые произрастали в различных по степени загрязнения среды участках. Контроль 1 был представлен участком пригородной зеленой зоны г. Красноярска (район Николаевской сопки) и отстоящим более чем на 100 м от ЛЭП 220 кВ. Контроль 2 составлял участок, расположенный в 25 км от Красноярска (район железнодорожной станции Рябинино) и отстоящий не менее чем на 100 м от ЛЭП 500 кВ. На таком расстоянии, как известно, распространение магнитного и электрического полей ЛЭП-110 кВ [1] или ЛЭП 675 кВ [12] практически затухает. Опыт 1 был представлен участком, расположенным под ЛЭП 220 кВ, опыт 2 был представлен участком, расположенным под ЛЭП 500 кВ, а опыт 3 – территорией, находящейся вдоль городской автодороги. Для того чтобы можно было наглядно оценить загрязненность последней территории, подсчитывалось количество автомобилей, проходящих по этой доро-

ге за 1 час. Количество автомашин подсчитывалось в течение 60 минут – с 16:00 до 17:00 часов в будние дни в октябре-ноябре 2014 г. Учет количества автомашин был выполнен с использованием методики М.В. Неустроевой [13].

Следуя известной методике [10], в каждом исследуемом участке для анализа реакции ивы козьей на физическое или химическое загрязнение окружающей среды с растений отбирали не менее 100 штук листьев. Эту операцию выполняли на нижней части кроны с 5–10 растений ивы козьей для каждого выбранного для исследования участка. Образцы представляли собой полностью сформированные листья, которые были собраны в конце августа – сентябре 2014 года. Собранные листья помещали в полиэтиленовые пакеты и сразу доставляли в лабораторию, где выполняли их измерение. На листовых пластинках делали промеры только одного из пяти стандартных метрических билатеральных признаков – ширины левой и правой половин листа. Такой подход реализован исходя из следующих причин. Как показано в литературе, данный показатель часто применяется для определения индекса ФА листьев [14, 15]; их ширина является одним из наиболее чувствительных к воздействию стрессоров морфометрических параметров [16, 17]; абсолютная величина индекса ФА листа, определенная на основе измерения ширины его половин, мало отличается от значения комплексного индекса ФА, найденного по измерениям пяти стандартных билатеральных признаков [18, 19]. Согласно стандартной методике [10], на листовой пластинке ровно посередине делали сгиб и в этом месте измеряли ширину двух половин листа. Указанные измерения 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 [10].

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достовер-

ность результатов оценивали, используя *t*-критерий Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В таблице представлены результаты выполненных измерений ширины листьев ивы козьей, произрастающей в различных по загрязненности участках. Можно видеть, что ширина левой и правой сторон листовой пластинки во всех вариантах достоверно не различается. Это может свидетельствовать об отсутствии направленной асимметрии листа ивы козьей. Следовательно, в условиях контролей и опытов регистрируется флуктуирующая асимметрия листа, значение которой можно использовать в биоиндикации при мониторинге качества окружающей среды.

Как видно из данных таблицы, величины индекса ФА ивы козьей в контроле существенно ниже по сравнению со всеми опытами. Можно отметить зарегистрированный эффект роста значения индекса ФА при увеличении напряженности электромагнитного поля (ЛЭП 500 кВ по сравнению с ЛЭП 220 кВ), который, правда, не подтвержден статистически. Полученный нами результат совпадает с опубликованными данными для березы повислой, выращиваемой при абсолютно меньших величинах электрического напряжения, до 110 кВ [11]. Рассматривая результаты, полученные в опытных вариантах, следует выделить регистрацию более значительного, статистически доказанного эффекта асимметрии листа при воздействии на растения физического фактора, чем химического.

Как показано в литературе, механизмы биологического ответа, вызванные электромагнитными полями, прослеживаются на ионных и молекулярных уровнях, а также на уровне клеток, тканей и организма [20–22]. При этом влияние химического фактора (концентрация свинца в среде) усиливается под действием физического фактора (ультрафиолетовое излучение) [23]. Поэтому негативный эффект химического отравления автомобильными выбросами растений ивы козьей, зарегистрированный в нашей работе по величине ФА, оказался слабее, чем воздействие рассматриваемого физического фактора – электромагнитного излучения.

Индекс флуктуирующей асимметрии листьев ивы козьей, произрастающей в условиях физического (электромагнитное поле) и химического (выхлопные газы автомобилей) загрязнения среды

| Вариант опыта | Условия опыта | Количество листьев, шт. | Ширина половины листа, мм | | Индекс флуктуирующей асимметрии |
|---------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|
| | | | левая | правая | |
| Контроль 1 | - | 180 | 27,27±0,33 | 27,71±0,34 | 0,026±0,002 а* |
| Контроль 2 | - | 115 | 21,73±0,32 | 22,10±0,35 | 0,025±0,002 а |
| Опыт 1 | ЛЭП 220 кВ | 240 | 23,88±0,26 | 24,06±0,23 | 0,040±0,002 б |
| Опыт 2 | ЛЭП 500 кВ | 137 | 19,95±0,26 | 20,58±0,26 | 0,047±0,003 б |
| Опыт 3 | 1390 автомобилей в час | 292 | 22,00±0,21 | 22,29±0,21 | 0,034±0,002 в |

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

Заключение. Таким образом, степень варьирования ширины правой и левой половин листьев ивы козьей (величина индекса ФА) может выступать чувствительным показателем при выполнении методом биоиндикации

мониторинга степени антропогенной нагрузки на окружающую среду в виде электромагнитного поля промышленной частоты. При этом асимметрия листовой пластинки возрастает существенно больше при воздействии на

растения рассматриваемого физического фактора, чем химического, заключающегося в загрязнении атмосферы автомобильными выбросами. Отмечен рост значения индекса ФА при увеличении напряженности электромагнитного поля (ЛЭП 500 кВ по сравнению с ЛЭП 220 кВ).

Литература

1. *Silva J.A.T., Dobránszki J.* Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // *Protoplasma*. – 2015. – № 5. – P. 1–18.
2. *Цугленок Н.В., Демиденко Г.А., Фомина Н.В.* [и др.]. Оценка влияния электромагнитного излучения на природные и селитебные экосистемы // *Вестн. КрасГАУ*. – 2014. – № 6. – С. 170–175.
3. *Soja G., Kunsch B., Gerzabek M.* [et al.]. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – Vol. 24. – № 2. – P. 91–102.
4. *Шашурин М.М., Прокопьев И.А., Шейн А.А.* [и др.]. Ответная реакция подорожника среднего на действие электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) // *Физиология растений*. – 2014. – Т. 61. – № 4. – С. 517–524.
5. *Fatigoni C., Dominici L., Moretti M.* [et al.]. Genotoxic effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields (MF) evaluated by the Tradescantia-micronucleus assay // *Environmental Toxicology*. – 2005. – Vol. 20. – № 6. – P. 585–591.
6. *Сарокваша О.Ю.* Эколого-биохимический мониторинг состава почвы в зоне размещения линии электропередачи города Безенчук Самарской области: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.04. – Самара, 2007. – 197 с.
7. *Alemán E.I., Moreira R.O., Lima A.A.* [et al.]. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings // *Bioelectromagnetics*. – 2014. – Vol. 35. – № 6. – P. 414–425.
8. *Stange B.C., Rowland R.E., Rapley B.I.* [et al.]. ELF magnetic fields increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane // *Bioelectromagnetics*. – 2002. – Vol. 23. – № 5. – P. 347–354.
9. *Novitskii Y.I., Novitskaya G.V., Serdyukov Y.A.* Lipid utilization in radish seedlings as affected by weak horizontal extremely low frequency magnetic field // *Bioelectromagnetics*. – 2014. – Vol. 35. – № 2. – P. 91–99.
10. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: Распоряжение Росэкологии от 16 октября 2003 г. № 460-р. – М., 2003. – 24 с.
11. *Баранов С.Г.* Влияние высоковольтных линий на флуктуирующую асимметрию берёзы повислой // *Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика. Долголетие*. – 2014. – № 1. – С. 76–80.
12. *Freeman D.C., Graham J.H., Tracy M.* [et al.]. 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. – № 6. – P. 157–166.
13. *Неустроева М.В.* Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов: мониторинг, оценка качества компонентов окружающей среды / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2006. – 372 с.
14. *Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J.* Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // *Journal of Applied Ecology*. – 1996. – Vol. 33. – № 6. – P. 1489–1495.
15. *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. – № 4. – P. 411–417.
16. *Зорина А.А., Коросов А.В.* Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берёз в Карелии // *Экология. Экспериментальная генетика и физиология: тр. Карел. науч. центра РАН*. – 2007. – Вып. 11. – С. 28–36.
17. *Калаев В.Н., Игнатова И.В., Третьякова В.В.* [и др.]. Биоиндикация загрязнения районов г. Воронежа по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Химия, биология, фармацевтика*. – 2011. – № 2. – С. 168–175.
18. *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.
19. *Черных Е.П., Первышина Г.Г., Гоголева О.В.* Оценка экологического благополучия территории г. Красноярска с использованием черемухи обыкновенной в качестве биоиндикатора // *Вестн. КрасГАУ*. – 2014. – № 1. – С. 96–100.
20. *Bauréus Koch C.L.M., Sommarin M., Persson B.R.R.* [et al.]. Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – Vol. 24. – № 6. – P. 395–402.
21. *Dattilo A.M., Bracchini L., Loiseau S.A.* [et al.]. Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – Vol. 26. – № 2. – P. 153–156.
22. *Volpe P., Eremenko T.* Mechanisms of the target response to magnetic fields and their correlation with the biological complexity // *The Environmentalist*. – 2007. – Vol. 27. – № 4. – P. 387–393.
23. *Селезнева Е.М., Анисимов В.С., Гончарова Л.И.* [и др.]. Влияние свинца и ультрафиолетового излучения на продуктивность растений и накопление металла в зерне ярового ячменя // *Агрохимия*. – 2005. – № 5. – С. 82–86.

Literatura

1. *Silva J.A.T., Dobránszki J.* Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // *Protoplasma*. – 2015. – № 5. – P. 1–18.

2. *Cuglenok N.V., Demidenko G.A., Fomina N.V.* [i dr.]. Ocenka vlijanija jelektromagnitnogo izluchenija na prirodnye i selitebnye jekosistemy // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 6. – S. 170–175.
3. *Soja G., Kunsch B., Gerzabek M.* [et al.]. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – Vol. 24. – № 2. – P. 91–102.
4. *Shashurin M.M., Prokop'ev I.A., Shein A.A.* [i dr.]. Otvetnaja reakcija podorozhnika srednego na dejstvie jelektromagnitnogo polja promyshlennoj chastoty (50 Gc) // *Fiziologija rastenij*. – 2014. – T. 61. – № 4. – S. 517–524.
5. *Fatigoni C., Dominici L., Moretti M.* [et al.]. Genotoxic effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields (MF) evaluated by the *Tradescantia*-micronucleus assay // *Environmental Toxicology*. – 2005. – Vol. 20. – № 6. – P. 585–591.
6. *Sarokvasha O.Ju.* Jekologo-biohimicheskij monitoring sostava pochvy v zone razmeshhenija linii jelektroperedachi goroda Bezenchuk Samarskoj oblasti: dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16, 03.00.04. – Samara, 2007. – 197 s.
7. *Alemán E.I., Moreira R.O., Lima A.A.* [et al.]. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings // *Bioelectromagnetics*. – 2014. – Vol. 35. – № 6. – P. 414–425.
8. *Stange B.C., Rowland R.E., Rapley B.I.* [et al.]. ELF magnetic fields increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane // *Bioelectromagnetics*. – 2002. – Vol. 23. – № 5. – P. 347–354.
9. *Novitskii Y.I., Novitskaya G.V., Serdyukov Y.A.* Lipid utilization in radish seedlings as affected by weak horizontal extremely low frequency magnetic field // *Bioelectromagnetics*. – 2014. – Vol. 35. – № 2. – P. 91–99.
10. Metodicheskie rekomendacii po vypolneniju ocenki kachestva sredy po sostojaniju zhivyh sushhestv: Rasporjazhenie Rosjekologii ot 16 oktjabrja 2003 g. № 460-r. – M., 2003. – 24 s.
11. *Baranov S.G.* Vlijanie vysokovol'nyh linii na fluktuirujushuju asimmetriju berjozy povisloj // *Zhizn' bez opasnostej. Zdorov'e. Profilaktika. Dolgoletie*. – 2014. – № 1. – S. 76–80.
12. *Freeman D.C., Graham J.H., Tracy M.* [et al.]. 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. – № 6. – P. 157–S166.
13. *Neustroeva M.V.* Ocenka jekologicheskogo sostojanija prirodno-territorial'nyh kompleksov: monitoring, ocenka kachestva komponentov okruzhajushhej sredy / Krasnojarsk. gos. ped. un-t im. V.P. Astaf'eva. – Krasnojarsk, 2006. – 372 s.
14. *Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J.* Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // *Journal of Applied Ecology*. – 1996. – Vol. 33. – № 6. – P. 1489–1495.
15. *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. – № 4. – P. 411–417.
16. *Zorina A.A., Korosov A.V.* Harakteristika fluktuirujushhej asimmetrii lista dvuh vidov berez v Karelii // *Jekologija. Jeksperimental'naja genetika i fiziologija*: tr. Karel. nauch. centra RAN. – 2007. – Vyp. 11. – S. 28–36.
17. *Kalaev V.N., Ignatova I.V., Tret'jakova V.V.* [i dr.]. Bioindikacija zagraznenija rajonov g. Voronezha po velichine fluktuirujushhej asimmetrii listovoj plastinki berezy povisloj // Vestn. Voronezh. gos. un-ta. Ser. Himija, biologija, farmacija. – 2011. – № 2. – S. 168–175.
18. *Mandra Ju.A., Eremenko R.S.* Bioindikacionnaja ocenka sostojanija okruzhajushhej sredy goroda Kislovodska na osnove analiza fluktuirujushhej asimmetrii // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*. – 2010. – T. 12. – № 1(8). – S. 1990–1994.
19. *Chernyh E.P., Pervyshina G.G., Gogoleva O.V.* Ocenka jekologicheskogo blagopoluchija territorii g. Krasnojarska s ispol'zovaniem cheremuhi obyknovnoj v kachestve bioindikatora // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 1. – S. 96–100.
20. *Bauréus Koch C.L.M., Sommarin M., Persson B.R.R.* [et al.]. Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – Vol. 24. – № 6. – R. 395–402.
21. *Dattilo A.M., Bracchini L., Loisele S.A.* [et al.]. Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – Vol. 26. – № 2. – P. 153–156.
22. *Volpe P., Eremenko T.* Mechanisms of the target response to magnetic fields and their correlation with the biological complexity // *The Environmentalist*. – 2007. – Vol. 27. – № 4. – P. 387–393.
23. *Selezneva E.M., Anisimov V.S., Goncharova L.I.* [i dr.]. Vlijanie svinca i ul'traioletovogo izluchenija na produktivnost' rastenij i nakoplenie metalla v zerne jarovogo jachmenja // *Agrohimiya*. – 2005. – № 5. – S. 82–86.