

УДК 574.21

**БИОМОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАЛУГИ
ПО ОТДЕЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ
(НА ПРИМЕРЕ ACER PLATANOIDES L.)**

Евсеева А. А., Файзиев Д. Ш.

*ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», Калуга, Россия
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

Как правило, при оценке здоровья среды используют оценку показателей асимметрии в комплексе по всем изучаемым признакам листовой пластинки. Интересной становится разработка экспресс-методик оценки здоровья среды по отдельным изучаемым признакам. Настоящее исследование останавливается на проблеме изучения чувствительности отдельных признаков листовой пластинки *Acer platanoides* L. к воздействиям факторов внешней среды. Материалы для исследования были собраны на 9 площадках, заложенных в рекреационных объектах города Калуги в 2018–2020 гг. Исходя из проведенного анализа, листья, собранные в 2018 г. более подвержены различным факторам антропогенного воздействия, в частности воздействию автотранспорта. При рассмотрении показателей 2018 и 2020 гг. мы можем наблюдать отличия, связанные с количественным изменением этого фактора. Для оценки здоровья городской среды нами рекомендуются анализируемые признаки 1-4.

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, здоровье среды, клен остролистный.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние зеленых насаждений, выполняющих множество экосистемных функций (рекреационные, оздоровительные, познавательные, защитные, эстетические и др.) во многом влияет на благополучие среды крупных урбанизированных территорий. С другой стороны, растительность города испытывает непосредственное антропогенное воздействие городской инфраструктуры, промышленных предприятий и транспорта, что отражается, в том числе, на выживании древесных растений. Исследования, посвященные использованию фанерофитов в качестве объектов биоиндикации, показывают, что современное развитие деревьев и кустарников парков, скверов, придомовых территорий и насаждений вдоль дорог часто оценивается, как неудовлетворительное [1, 2].

Оценка состояния фанерофитов в экстремальных условиях произрастания выполняется с использованием различных методов, одним из которых является оценка стабильности развития и проявление асимметрии листовых пластинок [3, 4]. Как правило, при оценке здоровья среды используют оценку показателей асимметрии в комплексе по всем изучаемым признакам листовой пластинки [5]. Интересной становится разработка экспресс-методик оценки здоровья среды по

отдельным изучаемым признакам. Для этого необходимо установить наиболее чувствительные к внешним воздействиям признаки. Существует ряд работ, в которых приводится учет отдельных признаков асимметрии [1, 6, 7]. Настоящее исследование останавливается на проблеме изучения чувствительности отдельных признаков листовой пластинки *Acer platanoides* L. к воздействиям факторов внешней среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы для исследования были собраны на 9 площадках, заложенных в рекреационных объектах города Калуги в 2018–2020 гг. (рис. 1).

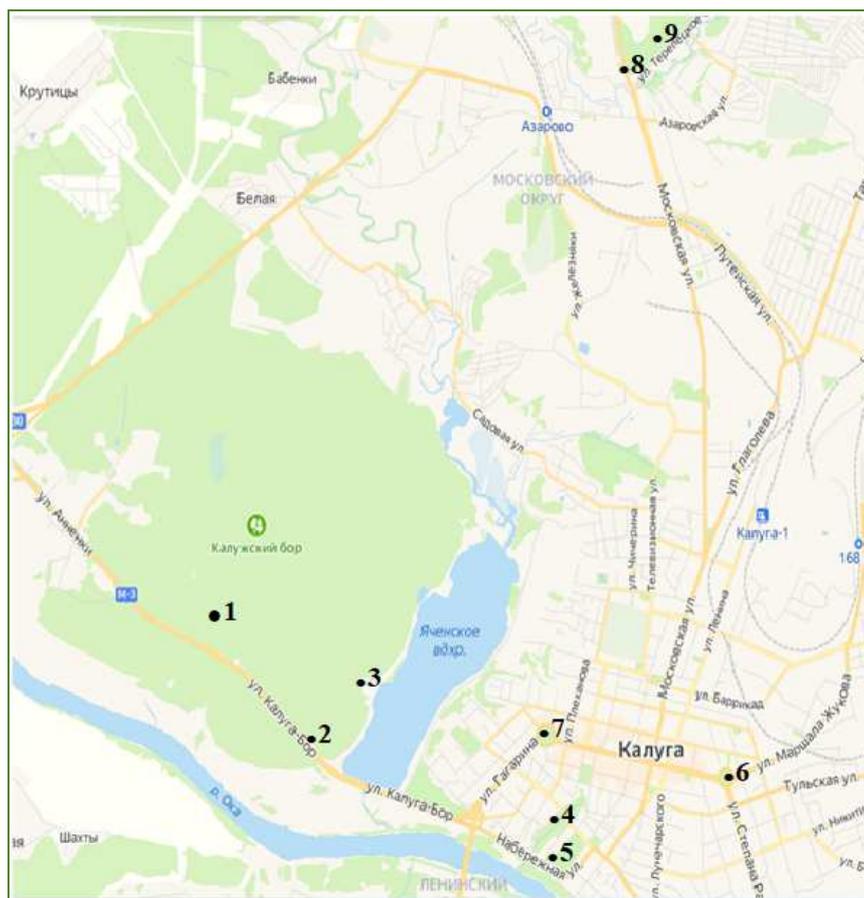


Рис. 1. Расположение точек исследования в городе Калуга:

1. Калужский бор (100м от трассы);
2. Калужский бор (Велопрокат);
3. Калужский бор (лесничество);
4. Березуйский овраг;
5. Парк культуры и отдыха;
6. Площадь Победы;
7. Сквер мира;
8. Усадьба Яновских (у дороги);
9. Усадьба Яновских (центральная часть).

Сбор листьев проводится после окончания периода роста. Обработка материала проводилась при помощи пакета программ Biondication tool kit [8]. Изучаемые признаки представлены на рисунке 2. Разработка признаков для последующего анализа опиралась на классические методики оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластинок [3–5], с учетом морфологических особенностей листьев *Acer platanoides* L.

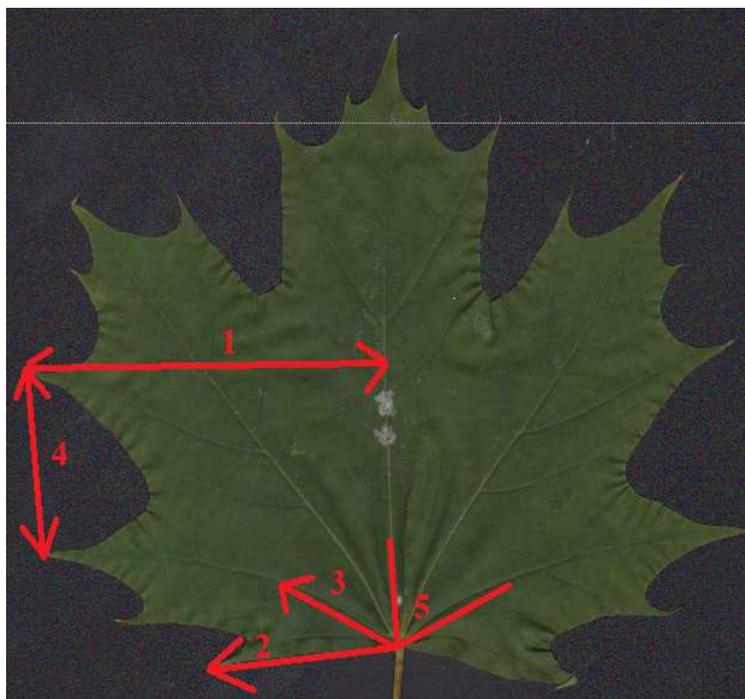


Рис. 2. Показатели измерения листовой пластинки Клёна остролистного:

- 1 показатель – Ширина левой и правой половинок листа
- 2 показатель – Расстояние от основания до конца жилки первого порядка, первой от основания листа
- 3 показатель – Расстояние между основаниями второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 4 показатель – Расстояние между концами второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 5 показатель – Угол между главной жилкой и второй жилкой от основания листа жилкой первого порядка

На ближайших к объектам крупных автодорогах велся учет авторанспорта, данные представлены на таблице 1.

Таблица 1.
Учет загруженности дорог автотранспортом в час вблизи объектов исследования.

Наименование объекта / Количество автотранспорта	Площадь Победы	Сквер Мира	Березуйский овраг	Парк культуры и отдыха	Калужский городской бор	Парк усадьбы Яновских
Будни	383	395	341	352	319	337
Час пик в будни	723	748	683	698	620	628
Выходные	300	327	291	297	278	264

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 1 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на рисунке (рис. 3).

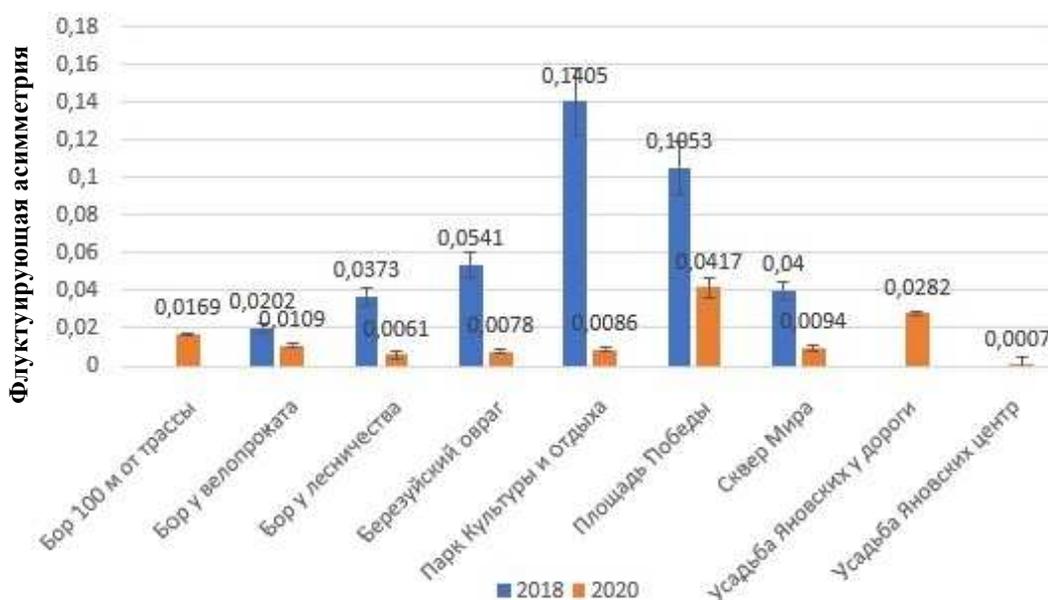


Рис. 3. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 1 признаку (*Acer platanoides* L.).

В 2020 г. среднее значение показателей асимметрии составило $0,0151 \pm 0,0019$. Максимальное значение в этом году определяется на площадке, расположенной на Площади Победы. Минимум же наблюдается в точке, расположенной в Калужском городском бору (у лесничества). На этой площадке отмечаются минимальные значения по сравнению с другими точками исследования, поскольку данная

территория находится в относительном удалении от источников антропогенного воздействия и листовые пластинки имеют нормальное развитие.

На площадке в Усадьбе Яновских, находящейся в центре парка, значения гораздо ниже, чем значения площадок, расположенных в усадьбе у дороги. Также низкие значения отмечены на площадке в сквере Мира, возможно это связано с введенным режимом самоизоляции, введенном в Калужской области весной 2020 г. Способствовать такой динамике, по нашему мнению, мог режим самоизоляции, который длился с апреля по май 2020 года. Автотранспорт, по данным министерства природных ресурсов и экологии Калужской области, является главным загрязнителем воздуха в городе Калуга. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, отмечается значительное снижение угарного газа и взвешенных частиц в воздухе г. Калуги в период самоизоляции в 2020 г. [9]. На других площадках в 2020 году отмечается высокий уровень коэффициента асимметрии, например, в Усадьбе Яновских. Хотя в 2020 г. интенсивность движения автотранспорта снизилась, эти площадки испытывают, предположительно, воздействие располагающейся здесь городской промышленной зоны.

На площадках Калужского городского бора и Березуйского оврага отмечены низкие значения асимметрии, что можно объяснить естественным происхождением и крупными размерами данных объектов исследования.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 2 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на графике (рис. 4).

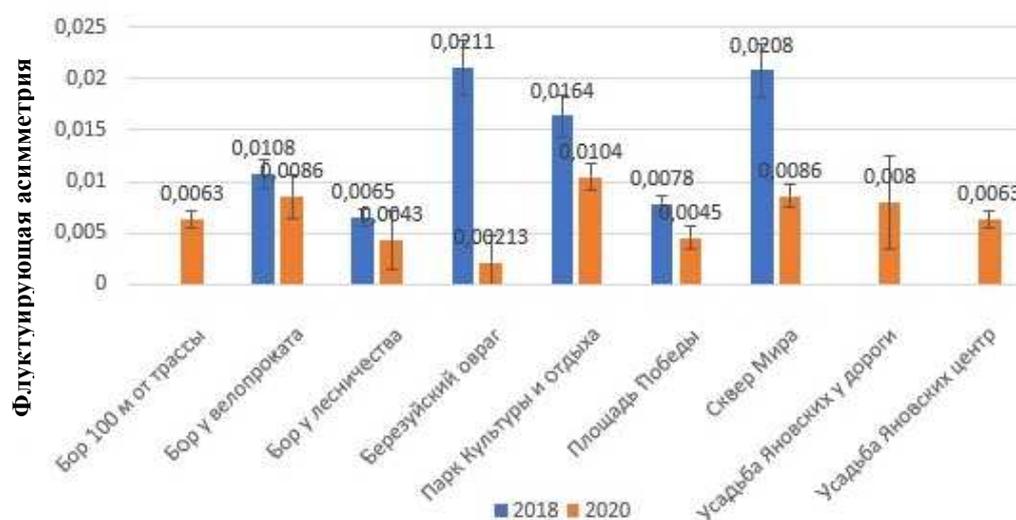


Рис. 4. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 2 признаку (*Acer platanoides* L.).

Среднее значение в 2018 г. составило $0,0138 \pm 0,0029$. Максимальным значением характеризуется площадка в Березуйском овраге, находящаяся близко к автодороге.

В данном случае естественное природное происхождение растительности оврага не предохранило листья от негативного воздействия. Минимум в этот период по признаку наблюдается на площадке в Калужском Бору (у лесничества). Обусловлено это тем, что территория лесничества находится на достаточном расстоянии от дороги, что способствует меньшему воздействию выбросов автомобилей. Кроме того, территория Калужского городского бора является остаточным естественным природным объектом, экосистемные связи которого позволяют снижать негативные последствия внешних воздействий. Высокие значения исследуемых показателей га площадке в сквере Мира обусловлены значительно высоким автодорожным потоком. Также высокие значения отмечены в Усадьбе Яновских, обусловлено это тем, что эти точки находятся вблизи городской промзоны, выбросы которой оказывают влияние на окружающую среду.

Среднее значение в 2020 г. составило $0,00657 \pm 0,000920706$. Максимальное значение наблюдается в точке, расположенной в парке Культуры и отдыха, но по сравнению в 2018 этот показатель уменьшился, что опять же говорит о меньшей нагрузке на данную территорию во время самоизоляции, проходящей в период закладки листовых пластинок весной.

Минимум показателя асимметрии наблюдается на площадке в Березуйском овраге, так как в период развития листьев (период самоизоляции), на дорогах отмечалось заметное уменьшение количества автотранспорта.

Низкие значения определены в Калужском бору по аналогичным причинам, что и в 2018 г, однако при сравнении 2018 и 2020 гг. показатели здесь в целом меньше, что возможно также связано с состоянием воздуха при режиме самоизоляции.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 3 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на рисунке (рис. 5).

В 2018 г. среднее значение составило $0,0465 \pm 0,0079$. Наибольший показатель коэффициента асимметрии наблюдается в Березуйском овраге, что указывает на то, что внешнее воздействие на этой площадке было высоким, возможно связанным с близостью площадки к проезжей части с высоким потоком автотранспорта. Минимальный показатель наблюдается на площадке в сквере Мира, а приближенное к нему значение на площади Победы.

В 2020 г. среднее значение составило $0,0212 \pm 0,0035$. Максимум в этом году наблюдается в точке Усадьба Яновских, находящаяся вблизи автодороги, а также в условиях промышленного загрязнения. Минимум же в этом году отмечен в сквере Мира, что предположительно связано с введенным режимом самоизоляции и уменьшением количества автотранспорта на дорогах. Что интересно, в 2020 г. площадки в сквере Мира и на площади Победы практически по всем изучаемым признакам уходят с позиций наиболее низкого качества среды в городе, поэтому возможно предположить, что автотранспорт является основополагающим фактором загрязнения в центральной части города. Интересно также и то, что в условиях самоизоляции максимальные значения асимметрии наблюдаются на площадках города, где помимо автотранспорта наблюдается воздействие промышленности (например, усадьба Яновских). Таким образом, лишь при снижении общей транспортной нагрузки на город, наиболее неблагоприятные условия среды

отмечаются в тех районах, где есть источники промышленного загрязнения. При обычной транспортной нагрузке высокие показатели асимметрии «смещаются» в районы с интенсивным движением автотранспорта. Этот факт подтверждает мнение о том, что основным загрязнителем воздуха в городской среде является автотранспорт [10].

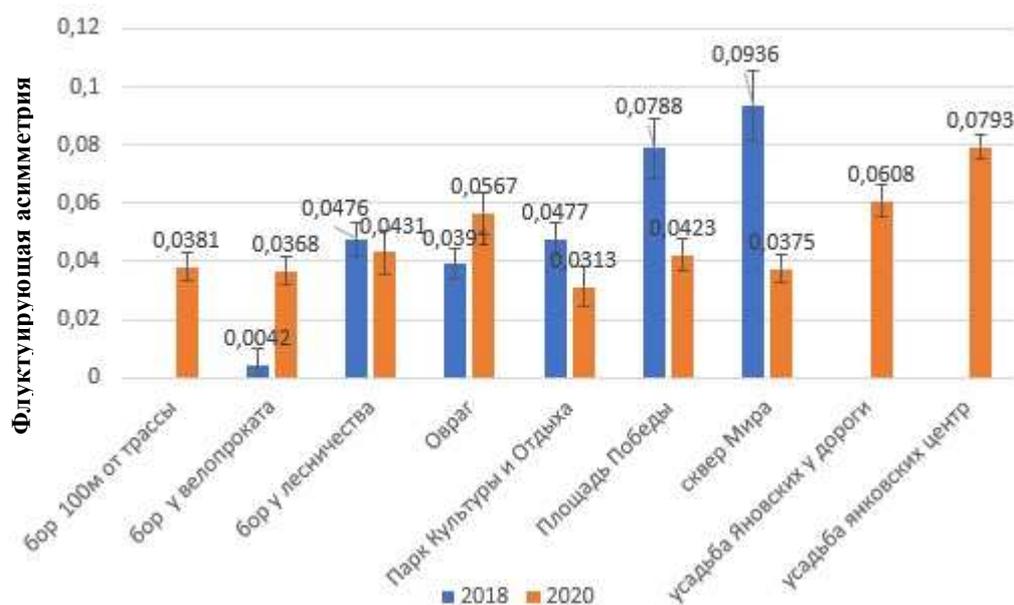


Рис. 5. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 3 признаку (*Acer platanoides* L.).

Расчет показателей асимметрии по 4 признаку представлен ниже на рисунке 6.

В 2018 г. среднее значение составило $0,05183 \pm 0,0140$. Максимум коэффициента флуктуирующей асимметрии наблюдается в точке сквер Мира. Минимум наблюдается на площадке Бор у велопроката.

В 2020 г. среднее значение составило $0,0473 \pm 0,0054$. Минимальное значение наблюдается в парке Культуры и отдыха. Минимум наблюдается на площадке в Городском бору у велопроката. Парк усадьбы Яновских подвержен воздействию многих антропогенных факторов, высокие значения асимметрии здесь в 2020 г. — это показатель того, как было сказано выше, что здесь оказывают влияние на растительность выбросы промышленности.

Расчет показателей асимметрии по 5 признаку представлен ниже на рисунке 7. В 2018 г. среднее значение составило $0,0382 \pm 0,0110$. Максимальное значение находится в Березуйском овраге, минимальное в сквере Мира.

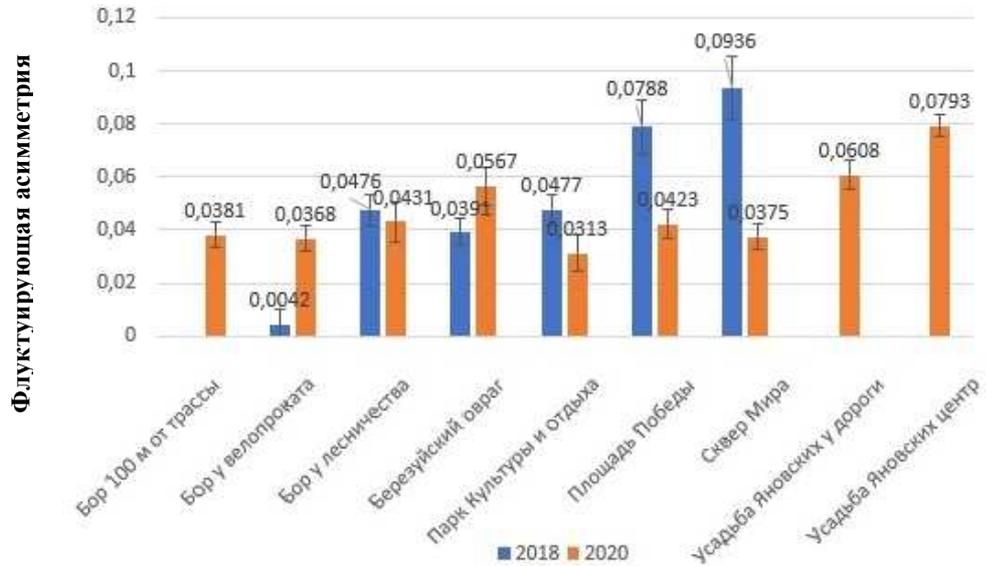


Рис. 6. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 4 признаку (*Acer platanoides* L.).

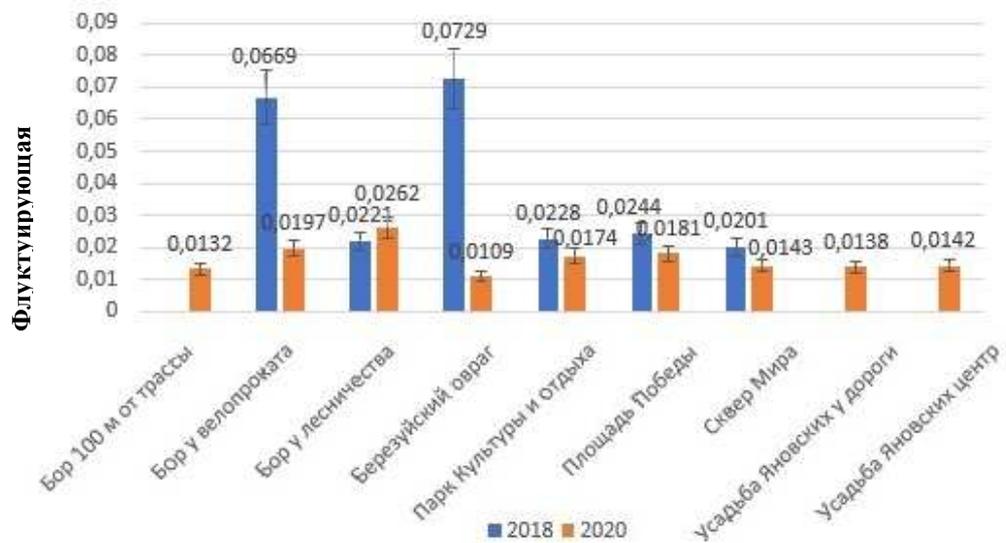


Рис. 7. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 5 признаку (*Acer platanoides* L.).

В 2020 г. среднее значение составило $0,0164 \pm 0,0016$. Максимум наблюдается в Городском бору у лесничества. Минимум же отмечен в точке Березуйский овраг.

Овраг имеет большую территорию большие размеры которой позволяют ей в определённой мере сопротивляться негативным факторам внешней среды. По нашему предположению, 5 признак оказался неинформативным, поскольку значения измерений в 2020 г. не демонстрируют разницу между объектами изучения, расположенными в различных частях города и подверженных различным уровням воздействия. В целом графическое выражение 5 признака указывает на его отличие от других анализируемых признаков, и возможно он не является чувствительным к предполагаемым факторам воздействия.

Исходя из анализа и проведенных измерений можно сказать о том, что значения асимметрии при анализе по отдельным признакам могут значительно отличаться друг от друга в одних и тех же условиях. Это показывает, что на отдельные признаки, по которым ведется анализ, могут влиять разные факторы.

В работе авторов М. С. Шарафутдиновой и Б. С. Харитонцева при изучении липы мелколистной (*Tilia Cordata* L.) выявлены статистически значимые корреляции между признаками второй и третьей листовой пластинки [7]. Мы также попытались найти корреляцию между признаками асимметрии листовых пластинок *Acer platanoides* L. Результаты расчетов за 2018 г. представлены в таблице 2.

**Таблица 2.
Корреляции между признаками листовой пластинки клена остролистного за 2018 г.**

	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5
Признак 1	-0.333	0.176	0.055	-0.236
Признак 2		0.552	0.042	0.333
Признак 3			0.236	0.442
Признак 4				-0.006

Между значениями флуктуирующей асимметрии не была найдена корреляция, но была обнаружена тенденция к ней между вторым и третьим признаками.

Из таблицы 3 видно, что в 2020 г. корреляции и тенденции к корреляции между значениями признаков флуктуирующей асимметрии не наблюдаются.

**Таблица 3.
Значения корреляции между исследуемыми признаками листовой пластинки клена остролистного за 2020 г.**

	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5
Признак 1	0.2	-0.1	-0.05	-0.033
Признак 2		0.142	-0.158	0.2
Признак 3			0.25	-0.15
Признак 4				0.067

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из приведенного выше материала можно составить общий вывод о том, что листья, собранные в 2018 г. более подвержены различным факторам антропогенного воздействия, в частности воздействию автотранспорта. В докладе Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области «о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2018 г.» автотранспорт указан как один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха [10]. И действительно, при рассмотрении показателей 2018 и 2020 гг. мы можем наблюдать отличия, связанные с количественным изменением этого фактора. Можно предположить, что снижение значений показателей асимметрии по сравнению с 2018 г. произошло в следствие с уменьшения автотранспорта на дорогах в период режима самоизоляции, введенного в связи с пандемией коронавирусной инфекции, вызванной SARS-CoV-2. Однако, не все признаки листовой пластинки *Acer platanoides* L. оказались чувствительными к предполагаемому изменению экспозиции воздействующих факторов. Анализируемые признаки 1-4 выражаются в единицах длины, возможно, эти характеристики листовой пластинки клена остролистного более пластичны к воздействию факторам по сравнению с признаком 5, выражаемым в градусах (угол между главной жилкой и второй жилкой от основания листа жилкой первого порядка). Для оценки здоровья городской среды нами рекомендуются признаки 1-4, поскольку их значения проявляют графическое сходство с результатами классического анализа флуктуирующей асимметрии, рассчитанной по 5 признакам в совокупности. Также отмечается сходство реакции этих признаков листовых пластинок с реакцией показателей асимметрии по 5 признакам на изменения экспозиции автотранспорта. Данные сходства указывают на чувствительность данных признаков к внешним воздействиям и дают возможность использовать их как маркеры оценки здоровья городской среды.

Список литературы

1. Чернакова О. В. Оценка стабильности развития *Acer ginnala* Maxim. в г. Иркутске по флуктуирующей асимметрии листьев / О. В. Чернакова // Вестник ИрГСХА. – 2019. – №95. – С. 84–92.
2. Кулагин А. Ю. Мониторинг состояние древесных насаждений берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях Уфимского промышленного центра / А. Ю. Кулагин, О. В. Тагирова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №10 (185). – С. 27–29.
3. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки. / Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
4. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, Ю. А. Буйлов, М. В. Кравченко. – Москва : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
5. Константинов Е. Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора: дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Е. Л. Константинов. – Калуга, 2001. – 126 с.
6. Полонский В. И. Использование флуктуирующей асимметрии супротивных листьев *Syringa josikaea* Jacq. в биоиндикации загрязнения г. Красноярск / В. И. Полонский // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1 (21). – С. 77–82.

7. Шарафутдинова М. С. Особенности флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа популяций *Tilia cordata* Mill. в условиях юга тюменской области / М. С. Шарафутдинова, Б. С. Харитонцев // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1, No 2. – С. 129–135.
8. Стрельцов А. Б. Здоровье среды (школьный практикум). Региональное учебно-методическое пособие / А. Б. Стрельцов [и др.]. — Калуга: Издательство КГПУ им. К. Э. Циолковского, 2006. – 40 с.
9. Официальный портал органов власти Калужской области [Электронный ресурс] // URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37 дата обращения 21.04.21.
10. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2018 году [Электронный ресурс] // <http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC/index.php> (дата обращения: 06.05.2021).

**BIOMONITORING OF THE HEALTH OF THE KALUGA URBAN
ENVIRONMENT BY INDIVIDUAL SIGNS OF FLUCTUATING ASYMMETRY
(USING THE EXAMPLE OF ACER PLATANOIDES L.)**

Evseeva A. A., Fayziev D. Sh.

*Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Kaluga, Russia
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

The state of green spaces that perform many ecosystem functions largely affects the well-being of the environment of large urbanized territories. On the other hand, the vegetation of the city experiences a direct anthropogenic impact of urban infrastructure, industrial enterprises and transport, which affects, among other things, the survival of woody plants. Studies on the use of phanerophytes as objects of bioindication. they show that the modern development of trees and shrubs in parks, squares, house territories and plantings along roads is often assessed as unsatisfactory. The assessment of the state of phanerophytes in extreme growing conditions is carried out using various methods, one of which is to assess the stability of development and the manifestation of asymmetry of leaf blades. As a rule, when assessing the health of the environment, an assessment of asymmetry indicators is used in a complex for all the studied signs of the leaf blade. The development of express methods for assessing the health of the environment according to the hotel characteristics under study is becoming interesting. To do this, it is necessary to establish the most sensitive signs to external influences. The present study focuses on the problem of studying the sensitivity of individual characteristics of the leaf blade *Acer platanoides* L. to the effects of environmental factors.

Materials for the study were collected at 9 sites laid in recreational facilities of the city of Kaluga in 2018–2020. The collection of leaves is carried out after the end of the growth period. The processing of the material was carried out using the Biondication tool kit software package.

Interestingly, in 2020, the sites in Mira Square and Victory Square are moving away from the positions of the lowest quality of the environment in the city in almost all the studied signs, so it is possible to assume that motor transport is the fundamental factor of

pollution in the central part of the city. It is also interesting that in conditions of self-isolation, the maximum values of asymmetry are observed at city sites where, in addition to motor transport, the impact of industry is observed (for example, the Yanovsky estate). Thus, only with a decrease in the overall transport load on the city, the most unfavorable environmental conditions are observed in those areas where there are sources of industrial pollution. With a normal traffic load, high asymmetry indicators "shift" to areas with heavy traffic. This fact confirms the opinion that the main air pollutant in the urban environment is motor transport. No correlation was found between the values of fluctuating asymmetry, but a tendency to it was found between the second and third signs. No correlation was found between the values of fluctuating asymmetry, but a tendency to it was found between the second and third signs. Based on the above material, it is possible to draw a general conclusion that the leaves collected in 2018 are more susceptible to various factors of anthropogenic impact, in particular the impact of motor transport. When considering the indicators for 2018 and 2020, we can observe differences related to the quantitative change in this factor. Not all signs of the leaf blade *Acer platanoides* L. they turned out to be sensitive to the expected change in the exposure of the influencing factors. To assess the health of the urban environment, we recommend the analyzed signs 1-4.

Keywords: biomonitoring, fluctuating asymmetry, development stability, environmental health, holly maple.

References

1. Chernakova O. V. Assessment of the stability of development of *Acer ginnala* Maxim. in Irkutsk by fluctuating asymmetry of leaves. *Bulletin of the IrGSHA*, **95**, 84 (2019)
2. Kulagin A. Yu., Tagirova A. YU. Monitoring of the state of hanging birch tree plantations (*Betula pendula* Roth.) in the conditions of the Ufa industrial Center, *Bulletin of the Orenburg State University*, **10 (185)**, 27 (2015).
3. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I. etc. *Environmental health: assessment methodology*, Center for Environmental Policy of Russia, 318 (Moscow, 2000).
4. Zakharov V. M. *Environmental health: assessment methodology Moscow*, Center for Environmental Policy of Russia, 68. (Moscow, 2000).
5. Konstantinov E. L. *Features of fluctuating asymmetry of the leaf blade of the hanging birch* (*Betula pendula* Roth.) as a type of bioindicator: dis. cand. biol. nauk: 03.00.16 E. L. Konstantinov, 126 (Kaluga, 2001).
6. Polonsky V. I. Use of fluctuating asymmetry of opposite leaves of *Syringa josikaea* Jacq. in bioindication of pollution in Krasnoyarsk, *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, **1 (21)**, 77 (2016).
7. Sharafutdinova M. S., Kharitontsev B. S. Features of fluctuating asymmetry of bilateral leaf features of *Tilia cordata* Mill populations. in the conditions of the south of the Tyumen region, *Bulletin of the Tyumen State University, Ecology and nature management*, **1.2**, 129 (2015).
8. Streltsov A. B. *Health of the environment (school practice). Regional educational and methodological manual*, Publishing House of KSPU named after K. E. Tsiolkovsky, 40 (Kaluga, 2006.).
9. Official portal of the Kaluga region authorities [Electronic resource]. URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37. Accessed 21.04.21.
10. Report on the state of natural resources and environmental protection in the Kaluga Region in 2018 [Electronic resource] URL: <http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC/index.php> Accessed 06. 05. 2021.