

УДК 574.21

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ГОРОДА КАЛУГИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ QUERCUS ROBUR L.

Евсеева А. А., Абрахманова О. И.

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

Статья посвящена биомониторингу городской среды г. Калуги. В качестве объекта биоиндикации был выбран широко распространенный здесь дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). В ходе исследования нами была проведена оценка здоровья среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого. Исходя из данных, собранных нами в 2018 и 2020 годах и параметров шкалы оценки стабильности развития дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), показатели соответствуют 5 баллу, что означает высокое отклонение стабильности развития дуба черешчатого от нормы и критическому состоянию экосистем. Низкие показатели здоровья среды обусловлены влиянием высокой транспортной нагрузки и промышленных предприятий на объекты исследования. На основании полученных результатов и их оценке по шкалам здоровья среды возможно проведение мероприятий по улучшению качества и экологической безопасности окружающей среды города Калуги.

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, здоровье среды, стабильность развития, дуб черешчатый.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность – это состояние защищенности окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, ЧС природного и техногенного характера [1]. Исходя из приведенного определения, очевидно, что экологическую безопасность можно установить через оценку здоровья среды. Под здоровьем среды понимается ее качество, необходимое для обеспечения здоровья человека и других видов живых существ [2]. Оценка здоровья среды доступна методами биоиндикации и биомониторинга. Поскольку рекреационные объекты города имеют большое средообразующее значение, необходимо проводить мониторинг их состояния в городской черте. Исходя из важности этого, все выбранные нами объекты исследования здоровья среды являются рекреационными зонами города. В качестве объектов биоиндикации традиционно используют растительные объекты экосистем. Древесные растения в целом наиболее предпочтительны для фитомониторинга, поскольку способны длительно существовать в динамично меняющейся городской среде. Ряд исследований посвящено использованию древесных растений как видов-индикаторов здоровья среды для Калужской области и Калуги [3–5]. Дуб издавна ценился в озеленении и широко представлен в рекреационных объектах Калуги, поэтому мы выбрали его в качестве объекта исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проходило в 2018–2020 годах в городе Калуге, в рекреационных объектах города (рис. 1).

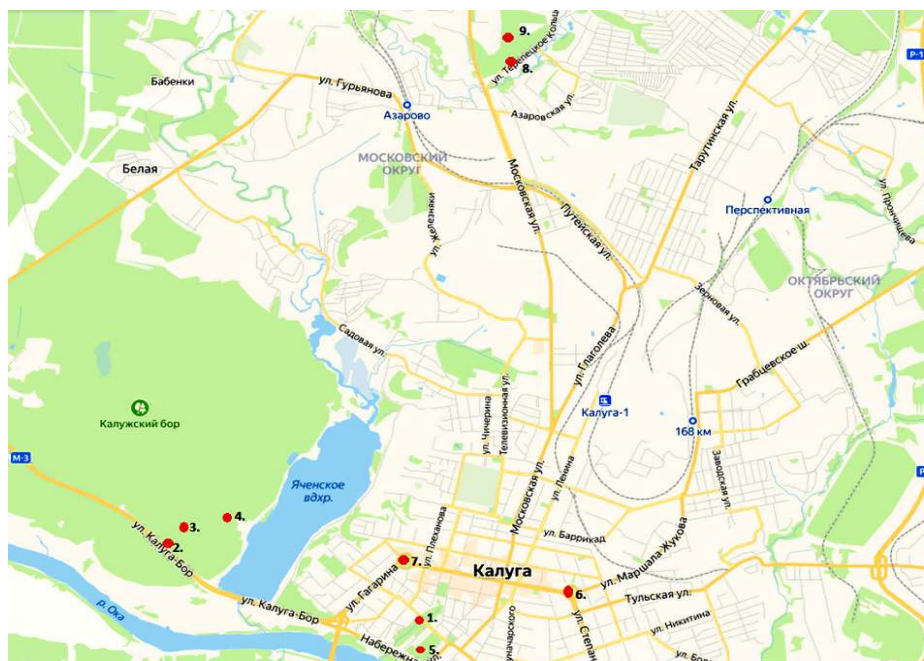


Рис. 1. Расположение точек исследования в городе Калуга: 1. Березуйский овраг; 2. Бор у остановки; 3. Бор 100 м от трассы; 4. Бор у лесничества; 5. Парк культуры и отдыха; 6. Площадь Победы; 7. Сквер Мира; 8. Усадьба Яновских (у автодороги); 9. Усадьба Яновских (центральная часть).

В ходе исследования нами была проведена оценка здоровья среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластин дуба черешчатого. При выборе пробных деревьев в древостое учитывался их возраст. Выбранные для исследования деревья являются одновозрастными, относящимися к возрастной группе спелых. Для анализа было отобрано по 30 листьев в каждой точке исследования. Сбор листьев производился с 3 деревьев, находящихся на ближайшем расстоянии друг к другу на исследуемом участке, в нижних доступных частях крон, на высоте до 2–3 м от уровня земли, со стороны, обращенной к транспортной артерии. Отбирались листья после остановки роста, относительно среднего размера, без явных повреждений для удобства и точности последующего измерения. Анализируемые признаки представлены на схеме (рис. 2).

Листья сканировались и измерялись при помощи пакета программ Biondication tool kit, разработанной лабораторией биоиндикации КГУ им. К. Э. Циолковского [6]. Для оценки здоровья среды использовались шкалы Н. А. Гераскиной и Л. А. Луговской [7, 8].

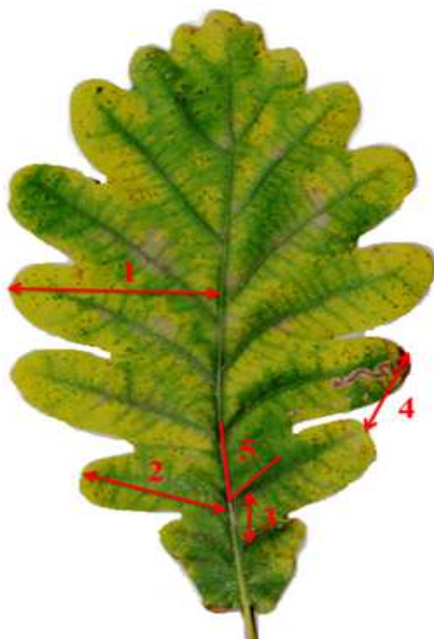


Рис. 2. Листовая пластинка дуба черешчатого (Анализируемые признаки: 1. Ширина левой и правой половинок листа; 2. Расстояние от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листа; 3. Расстояние между основаниями первой и второй жилки второго порядка; 4. Расстояние между концами первой и второй жилки второго порядка; 5. Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго 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

Исследование проходило в рекреационных объектах города, таких как, Калужский городской бор, Комсомольская роща, Березуйский овраг, Центральный парк культуры и отдыха, площадь Победы, сквер Мира и Усадьба Яновских.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии листовой пластинки дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) представлены на рисунке 3.

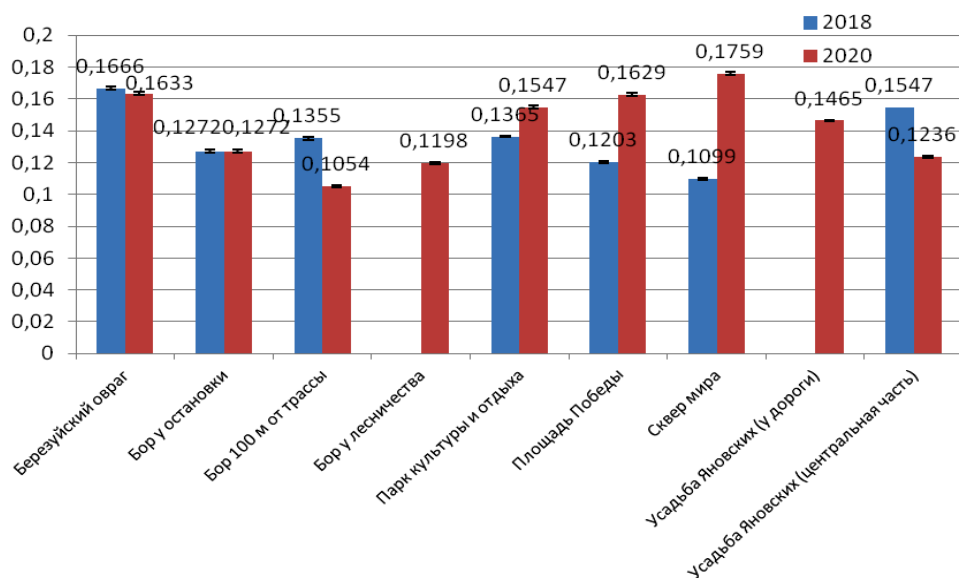


Рис. 3. Значения показателей коэффициента флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в точках сбора в г. Калуге в 2018 и 2020 гг.

Рассмотрим результаты, полученные в 2018 году. Диапазон значений варьирует от 0,1054 до 0,1759. Среднее значение в этом сезоне исследований составило $0,1358 \pm 0,007$. Максимальное значение на данной гистограмме мы наблюдаем в Березуйском овраге. Это объясняется высокой транспортной загруженностью прилегающих автодорог и расположением в центральной части города. Данная точка исследования находится непосредственно под Каменным мостом, поэтому данный объект, несмотря на достаточно большой размер, не может нивелировать получаемое антропогенное воздействие. Минимальное значение и приближенное к нему наблюдается в сквере Мира и на площади Победы. Это можно объяснить тем, что данных деревья находятся под постоянным антропогенным прессингом автотранспорта, поскольку данные объекты являются местами пересечения одних из наиболее загруженных городских автодорог. В связи с этим, листовые пластинки деревьев изначально недостаточно развиваются, что приводит к получению ложных результатов. Также относительно невысокие результаты коэффициента асимметрии наблюдаются в Калужском городском Бору и в Парке культуры и отдыха. Это объясняется достаточно крупными размерами объектов, что обуславливает их

способность к саморегуляции и снижению неблагоприятного воздействия за счет экосистемных свойств. Достаточно высокое значение асимметрии отмечено в точке Парка Усадьбы Яновских. Территория парка испытывает высокую антропогенную нагрузку, так как рядом расположены крупные промышленные объекты промышленной зоны «Азарово»: «Калужский завод автомобильного электрооборудования», «Калужский завод металлопластиковых конструкций», «Калужский двигатель» и др.

Теперь рассмотрим результаты, которые мы получили в 2020 году. В данный период наблюдений нами было расширено число участков исследования в наиболее крупных городских объектах, для их более детального изучения. Так, дополнительные точки исследования были заложены в Городском бору, в удалении от трассы и парке усадьбы Яновских, напротив, у автодороги для сравнения с центральной, удаленной от нее точкой, поскольку имелось предположение о высоком значении коэффициента асимметрии здесь из-за близости к промышленной зоне. Результаты показали, что точки, находящиеся в непосредственной близости к автодорогам в обоих объектах (Бор у остановки и Усадьба Яновских, у дороги), имеют более высокие показатели коэффициентов асимметрии, по сравнению с участками этих объектов рекреации, находящихся в отдалении от автодорог (Бор у лесничества и Усадьба Яновских, центральная часть). На гистограмме видны значительные изменения в некоторых точках сбора, по сравнению с 2018 годом. Показатель флуктуирующей асимметрии в сквере Мира достигает максимального значения (0,1759). Показатели на площади Победы и в Парке культуры и отдыха так же достигают высоких значений. Стабильными остались показатели в местах сбора в Бору у остановки и в Березуйском овраге. Значительно отличаются числовые выражения показателей в точках, расположенных в сквере Мира и на площади Победы. Стоит выделить их в отдельную группу для рассмотрения, поскольку это полностью искусственные рекреационные объекты города, имеющие наименьшие размеры среди исследуемых. Значения флуктуирующей асимметрии выросли здесь по сравнению с 2018 г. Нами предполагалось, что низкие показатели в этих точках были связаны с повышенной антропогенной нагрузкой, ограничивающей нормальное развитие листовых пластинок. Высокая концентрация токсичных веществ и жесткие микроклиматические условия приводят к структурным изменениям древесной растительности. У городских деревьев обычно более редкие кроны, короче побеги, меньше площадь листовой поверхности и морфометрические показатели листовых пластинок [9, 10]. Это может быть связано с изменением морфологических структур листовых пластинок под воздействием интенсивного антропогенного прессинга, и подобный результат, возможно, является не соответствующим реальной экологической обстановке [11]. Можно предположить, что, поскольку листья данных растительных объектов, претерпевают несоизмеримую с остальными точками исследования нагрузку, имеют отличающиеся морфологические параметры, поэтому сравнение их показателей флуктуирующей асимметрии с показателями других рекреационных зон затруднительно. Небольшие размеры данных объектов и их искусственное происхождение, по всей видимости, не позволяют противостоять высокой

антропогенной нагрузке. В 2020 году мы наблюдаем обратную динамику, возможно, связанную с режимом самоизоляции, проходившем в апреле–мае 2020 года. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, воздух в Калужской области стал чище [12]. В атмосфере г. Калуги отмечается значительное снижение угарного газа и взвешенных частиц. Об этом говорят результаты наблюдений, проведенных в первые три месяца 2020 года. Загрязнение атмосферы было низким в апреле–мае и листья развивались нормально, затем режим самоизоляции был ослаблен, что повлияло на их окончательное формирование и изначально нормально развивающиеся листья затем оказались в условиях прежней нагрузки после снятия режима самоизоляции и дали получившиеся высокие значения коэффициента асимметрии.

Применение балльных шкал стабильности развития дает возможность выделения территорий по состоянию древесной растительности и степени отклонения от нормы под воздействием антропогенной нагрузки. Здоровье среды определялось по шкале Н. А. Гераськиной [8] (табл. 2).

Таблица 2.

Шкала оценки стабильности развития дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Балл	Величина показателя стабильности развития
1 – норма	< 0,065
2 – угнетенное состояние	0,066 – 0,070
3 – угнетенное состояние	0,071 – 0,075
4 – угнетенное состояние	0,076 – 0,083
5 – критическое значение	> 0,083

В 2018–2020 гг. во всех точках исследования отмечается критическое состояние здоровья среды. Все точки выборок подвержены влияниям негативных факторов, которые оказывают угнетающее действия на местообитания дуба и затрудняют условия существования вида в данных условиях.

Точки сбора материала, находящиеся в Калужском городском бору, (Бор 100м. от трассы, Бор у лесничества, Бор у остановки); Березуйский овраг; Парк культуры и отдыха; площадь Победы; сквер Мира; Усадьба Яновских (у дороги и центральная часть) исходя из данных (рис. 3) собранных нами в 2018 и 2020 годах соответствуют 5 баллу, что означает высокое отклонение стабильности развития дуба черешчатого от нормы и критическому состоянию экосистем.

По шкале оценки здоровья среды обитания [7, 13] по значению флуктуирующей асимметрии листьев дуба черешчатого видно, что данные растительные объекты находятся в пессимальных условиях (табл. 3).

Это приводит к угнетению состояния дуба и снижению стабильности его развития. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что пессимальные условия влияют негативно не только на растительный и древесный мир, но так же и на здоровье человека.

Таблица 3.
Шкала оценки среды обитания по значению флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Параметры условий	Оптимальные условия	Субоптимальные условия	Субпессимальные условия	Пессимальные условия
Значение флуктуации ширины листа	ниже 0.033	0.033 до 0.048	0.048 до 0.063	выше 0.063

Нами была предпринята попытка обнаружения корреляции между расстоянием от точки сбора до ближайшей крупной автодороги и значениями коэффициента асимметрии (табл. 4).

Таблица 4.
Корреляция между значением флуктуирующей асимметрии листовой пластики 2018 и 2020 годах и расстоянием до дороги

Точки сбора	2018 год		2020 год	
	Значение флуктуирующей асимметрии листовой пластики	Расстояние до дороги (м)	Значение флуктуирующей асимметрии листовой пластики	Расстояние до дороги (м)
Березуйский овраг	0,1666	10.3	0,1633	10.3
Бор у остановки	0,1272	35.3	0,1272	35.3
Бор 100 м от трассы	0,1355	100	0,1054	100
Бор у лесничества			0,1198	508
Парк культуры и отдыха	0,1365	132	0,1547	132
Площадь Победы	0,1203	24.5	0,1629	24.5
Сквер мира	0,1099	46.3	0,1759	46.3
Усадьба Яновских (у дороги)			0,1465	18.2
Усадьба Яновских (центральная часть)	0,1547	244	0,1236	244

В 2018 году корреляция не обнаружена. В 2020 году корреляция так же не достигает уровня статистической значимости, однако прослеживается тенденция к обратной взаимосвязи между расстоянием до автодороги и величиной

коэффициента асимметрии (-0.583 при $p \geq 0,05$), что позволяет считать автотранспорт фактором, влияющим на асимметрию листовых пластинок дуба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг здоровья среды в 2018–2020 гг., показал наличие стабильного среднего значения коэффициента асимметрии в точках, расположенных в Березуйском овраге, парке Культуры и отдыха и в усадьбе Яновских. Можно предположить, что факторы, которые влияют здесь на здоровья среды в течение длительного периода, не изменялись. Выявлено, что введенный режим самоизоляции в России весной 2020 г., в результате которого было отмечено снижение выбросов автотранспорта в городскую среду, положительно повлиял на стабильность развития дуба черешчатого, а значит и на здоровье городской среды в целом. Во всех точках исследования наблюдается критическое состояние здоровья среды. Низкие показатели здоровья среды, обусловлены влиянием высокой транспортной нагрузки и промышленных предприятий на объекты исследования. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что экологическое здоровье обследованных в ходе биомониторинга объектов г. Калуги находится на низком уровне. Выявлена тенденция к обратной взаимосвязи между удаленностью объектов исследования и городскими автодорогами, что говорит об автотранспорте, как о факторе, влияющем на стабильность и здоровье городской среды негативно. Подобные оценки важны, поскольку на основании полученных результатов и их оценке по шкалам здоровья среды возможно проведение мероприятий по улучшению качества и экологической безопасности окружающей среды города Калуги.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция от 09.03.2021) [Электронный ресурс] // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ дата обращения: 14.04.2020.
2. Захаров В. М. Здоровье среды: концепция. / Захаров В. М. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 30 с.
3. 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.
4. Нестерова Е. В. Исследование состояния рекреационных зон г. Калуги методом биоиндикации / Е. В. Нестерова, А. А. Евсеева // Вестник Калужского университета. – 2019. – №1. – С. 70–75.
5. Захаров М. Б. Использование клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) в качестве индикатора здоровья среды городских рекреационных зон (на примере Калуги и Боровска) / М. Б. Захаров, А. А. Евсеева // Вестник Калужского университета. – 2019. – №2. – С. 90–97.
6. 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.
7. Гераськина Н. А. Оценка стабильности развития дуба черешчатого на территории национально парка «Орловское Полесье» / Н. А. Гераськина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука. 2009. – Т. 18, № 3. – С. 240–244.
8. Луговская Л. А. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) / Л. А. Луговская // Научные ведомости. Серия Естественных науки. – 2016. – №18 (239), Выпуск 36. – 87 с.

9. Белева Ю. В. Показатели пластинки флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth. В естественных и антропогенных условиях сбора Тольятти / Ю. В. Белева // Самарская Лука: реакции проблемы региональной и глобальной экологии. – 2013. – Т. 23, № 3. – С. 167–174.
10. Бессонова Н. В. Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске / Н. В. Бессонова // Вестник МГСУ. – 2012. – № 5. – С. 51–65.
11. Hodar Jose A. Leaf fluctuating asymmetry of Holm oak in response to drought under contrasting climatic conditions / Hodar Jose A. // J Arid Environ. – 2002. – P. 233.
12. Официальный портал органов власти Калужской области [Электронный ресурс] // URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37 дата обращения 20.12.20.
13. Гелашвили Д. Б. Структурно-информационные показатели флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов / Д. Б. Гелашвили, Е. В. Чупрунов, Д. И. Иудин // Журн. общ. биол. – 2004. – Т. 65, № 4. – С. 941–949.

MONITORING OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE CITY OF KALUGA BY BIOINDICATION USING QUERCUS ROBUR L.

Evseeva A. A., Abrakhmanova O. I.

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

The article is devoted to biomonitoring of the urban environment of Kaluga. The widely distributed pedunculate oak (*Quercus robur* L.) was chosen as the object of bioindication. The study was conducted in 2018–2020 in recreational facilities of the city. In the course of the study, we evaluated the health of the environment by the bioindication method based on the value of the fluctuating asymmetry of the leaf plates of oak petiole. The indicators at the collection points in the Forest near the bus stop and in the Berezuysky ravine remained stable during the period of the survey. Significantly different values of indicators in the points located in the square of the World and on Victory Square. Their values in 2020 increased compared to 2018. We assumed that the low values at these points were associated with an increased anthropogenic load that restricts the normal development of leaf blades. For the studied territory of Kaluga, these are the points with the lowest indicators, which should indicate a high health of the environment.

This may be due to changes in the morphological structures of the leaf blades under the influence of intense anthropogenic pressure, and such a result may not correspond to the actual ecological situation. In 2020, we are seeing a reverse trend, possibly related to the self-isolation regime that took place in April-May 2020. According to the Regional Ministry of Natural Resources and Ecology, the air in the Kaluga region has become cleaner.

Based on the data collected by us in 2018 and 2020 and the parameters of the scale for assessing the stability of the development of oak petiole (*Quercus robur* L.), the indicators correspond to a 5 point, which means a high deviation of the stability of the development of oak petiole from the norm and the critical state of ecosystems. Monitoring of environmental health showed the presence of a stable average value of the asymmetry coefficient at points located in the Berezuysky Ravine, the Park of Culture and

Recreation, Victory Square, Mira Square and the Yanovsky estate. It can be assumed that the factors that affect the health of the environment here over a long period have not changed. At all points of the study, a critical state of environmental health is observed. Low environmental health indicators are due to the influence of high transport loads and industrial enterprises on the objects of research. Based on the results obtained and their assessment on the environmental health scales, it is possible to carry out measures to improve the quality and environmental safety of the environment of the city of Kaluga.

Keywords: biomonitoring, fluctuating asymmetry, environmental health, development stability, petiolate oak.

References

1. Federal Law "On Environmental Protection" of 10.01.2002 N 7-FZ (latest version from 09.03.2021) [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823. Accessed: 14.04.2020.
2. Zakharov V. M. *Environmental health: concept*. Center for Environmental Policy of Russia, 30 (Moscow, 2000).
3. 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, 126. (Kaluga, 2001).
4. Nesterova E. V., Evseeva A. A. Study of the state of recreational zones in Kaluga by bioindication. *Bulletin of the Kaluga University*. **1**. 70. (2019).
5. Zakharov M. B., Evseeva A. A. The use of holly maple (*Acer platanoides* L.) as an indicator of the health of the environment of urban recreational zones (on the example of Kaluga and Borovsk), *Bulletin of the Kaluga University*, **2**. 90. (2019).
6. 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.).
7. Geraskina N. A. Assessment of the stability of the development of oak petiolate on the territory of the national park "Orel Polesie". *Samara Luka: problems of regional and global ecology*. *Samara Luka*, **18**, **3**, 240 (2009).
8. Lугоvskaya L. A. Assessment of the comfort of the environment by the fluctuating asymmetry of the petiolate oak (*Quercus robur* L.) *Scientific bulletin. Natural Sciences series*, **18(239)**, **36**, 87 (2016).
9. Belyaeva Yu. V. Indicators of the plate fluctuating in the asymmetry of *Betula pendula* Roth. In the absence of natural natural and anthropogenic environments in the conditions of collecting Tolyatti. *Samarskaya Luka: reactions of the problem of the difference between the regional state duma and the global development of ecology*, **23**, **3**, 167 (2013).
10. Bessonova N. V. The use of the environment of the method of studying the bioindication of organisms for ecological assessment of the results of the ecological tree state of organisms of various plants in the districts of the city of Khabarovsk, *Bulletin of the MSU*, **5**. 51. (2012).
11. Hodar Jose A. *Leaf fluctuating asymmetry of Holm oakin response to drought nako under contrasting climatic conditions*, 233. (J Arid Environ, 2002).
12. *Official portal of the Kaluga region authorities* [Electronic resource]. URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37. Accessed 20.12.20.
13. Gelashvili D. B., Chuprunov E. V., Yudin D. I. Structural and informational indicators of fluctuating asymmetry of bilaterally symmetric organisms, *Journal of General Biology*, **65**, **4**, 941 (2004).