



УДК 504.064

## Исследование параметров флуоресценции хлорофилла и флуктуирующей асимметрии листьев древесного растения – *Quercus castanefolia* С. А. Мей. в условиях города Баку, Азербайджан



Р. Н. Мамедова

Мамедова Роза Назим гызы, докторант кафедры биоэкологии факультета экологии и почвоведения, Бакинский государственный университет, roza2919@mail.ru

В статье представлены результаты исследования морфометрических и физиологических показателей листьев древесного растения – каштановый дуб (*Quercus castanefolia* С. А. Мей.). Исследование проводилось в условиях города Баку – столице Республики Азербайджан, с целью оценки биоиндикативных свойств и перспективности использования этого растения в экологическом мониторинге и озеленении города. Для проведения сравнительного анализа результатов пробы листьев были собраны на территориях города, различающихся по степени экологического загрязнения. Морфометрические параметры исследовались посредством метода флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков листьев. Было установлено, что повышение уровня антропогенного загрязнения среды приводит к увеличению значения показателей флуктуирующей асимметрии листьев каштанового дуба. Параллельно с морфологическими параметрами исследовалась и функциональная активность фотосистемы II фотосинтетического аппарата листьев на основе анализа параметров индукционных кривых миллисекундной компоненты замедленной флуоресценции хлорофилла а. Сравнивались интенсивности отдельных фаз, а также отношение интенсивности фаз миллисекундной компоненты замедленной флуоресценции хлорофилла а к интенсивности стационарного уровня. Обнаружена вариация этих показателей в зависимости от разной степени техногенной нагрузки на среду произрастания данного растения. В условиях экологического риска наблюдается подавление как быстрой, так и медленной фазы и понижается эффективность процесса фотосинтеза. На основе полученных результатов сделан вывод о том, что каштановый дуб может быть использован в качестве растения монитора, для экспресс-диагностики качества среды, так как исследуемые морфо-физиологические параметры проявляют чувствительность к стрессовым воздействиям среды.

**Ключевые слова:** биоиндикация, флуоресценция хлорофилла, флуктуирующая асимметрия.

Поступила в редакцию: 06.11.2019 / Принята: 10.12.2019 / Опубликовано: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-207-211>

### Введение

Загрязнение окружающей среды является острой экологической проблемой, особенно в городских и промышленных районах как наиболее

индустриализированных и урбанизированных экосистемах. Поэтому актуальной задачей является поиск объективных и достаточно простых в исполнении методов ранней диагностики техногенного загрязнения природной среды. Для интегральной биоиндикационной оценки качества среды уже зарекомендовавшим себя, эффективным и быстрым тест-методом является изучение показателей флуктуирующей асимметрии (ФА) морфологических признаков листьев растений, которые могут являться индикатором состояния среды [1–3]. ФА билатерально симметричных органов – это внешнее проявление нестабильности развития организма под действием стрессовых факторов. Чем выше показатель ФА, тем ниже уровень гомеостаза развития организма. В то же время у растений одним из самых чувствительных физиологических процессов к действию любых экологических и антропогенных факторов является процесс фотосинтеза. Фотосинтетический аппарат, имеющий огромную поверхность контакта со средой, в первую очередь и в наибольшей степени подвергается неблагоприятным воздействиям загрязнения среды [4]. Для прогнозирования качества среды необходимо получение экспресс-информации, которая позволила бы уже на ранних этапах диагностировать изменение клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов, задолго до того, как результат этих внешних воздействий на организм проявится в видимых признаках. Отвечая этим требованиям современные биофизические методы экспресс-диагностики состояния клеток [5]. Один из таких биофизических методов, способных давать оперативную информацию о физиологическом состоянии фотосинтетического аппарата, – это регистрация различных параметров флуоресценции хлорофилла [6–10].

Целью данной научной работы было исследование стабильности развития морфологических параметров и физиологического состояния листьев для определения перспективности использования этих растений в экологическом мониторинге города Баку.



## Материалы и методы

Объектами исследования были листья древесного растения из семейства Буковые (Fagaceae), рода Дуб (*Quercus*) – каштанолистный дуб (*Quercus castaneifolia* С. А. Мей.). Это дерево достигает в высоту 40 м. Листья плотные, кожистые, удлинненно-обратноовальные, продолговато-ланцетные, с 7–15 боковыми зубцами. Является довольно теневыносливым, морозостойким, устойчивым к засухе и сильным ветрам растением. Используются для озеленения города Баку в парках, садах, скверах как декоративное растение [11].

Пробы листьев *Q. Castaneifolia* были собраны с 2 площадок, отличающихся по степени экологической загрязненности, на территории города Баку. Во всех местах сбора при помощи GPS были определены географические координаты территорий исследования. Условно-чистый (контрольный) участок был расположен на охраняемой территории Центрального Ботанического сада Национальной академии наук Азербайджана (НАНА) (40°21'22.4"N 49°48'52.6"E). Как относительно экологически загрязненная, рискованная зона была выбрана территория парка в Ясамальском районе (40°22'24.8"N 49°48'45.0"E), расположенная вблизи автомобильных дорог с интенсивным транспортным потоком и окруженная застройками.

Исследования проводились с 2014 по 2017 г., с трехкратной повторностью. Оценка стабильности развития морфологических параметров проводилась методом ФА билатеральных морфологических признаков листьев. В качестве измеряемого билатерального морфологического признака была выбрана максимальная длина от главной жилки до правого и левого края листовидной пластинки. Результаты измерений были обработаны программным пакетом, специально созданным на основе языке программирования JAVA SCRIPT (ECMA Script 6) [12–15]. Сбор материала и измерения проводились общепринятыми методами [16].

Для оценки физиологического состояния листьев регистрировались индукционные кривые миллисекундной компоненты замедленной флуоресценции хлорофилла а (мсЗФ хл. а) листьев. На основе анализа этих кривых оценивалась функциональная активность фотосистемы II (ФС II). Для регистрации индукционных кривых мсЗФ хл. а интактных листьев была использована фотометрическая установка с фосфороскопом [17–19]. Оценка состояния фотосинтетического

аппарата листьев деревьев из обеих пробных площадок, различающихся по степени экологической загрязненности, производилась по характеру изменения различных фаз индукционной кривой мсЗФ хл. а [20, 21]. Листья были собраны на пробных площадках с условно-одновозрастных деревьев. Были отобраны зрелые визуально неповрежденные листья примерно с одинакового яруса, расположенные на высоте 1.5–1.7 м от уровня почвы с южной стороны кроны. Листья были собраны в утренние часы (10–11 часов) и до начала работы были помещены в пакеты из черной фотобумаги. Для каждого образца выдерживалось примерно одинаковое время с момента изъятия листа до начала проведения измерений (1 ч после сбора). С каждой пробной площадки было исследовано по 3 листа. Для подготовки фигур на основе усредненных показателей индукционных кривых мсЗФ хл. а интактных листьев была использована программа Corel Draw.

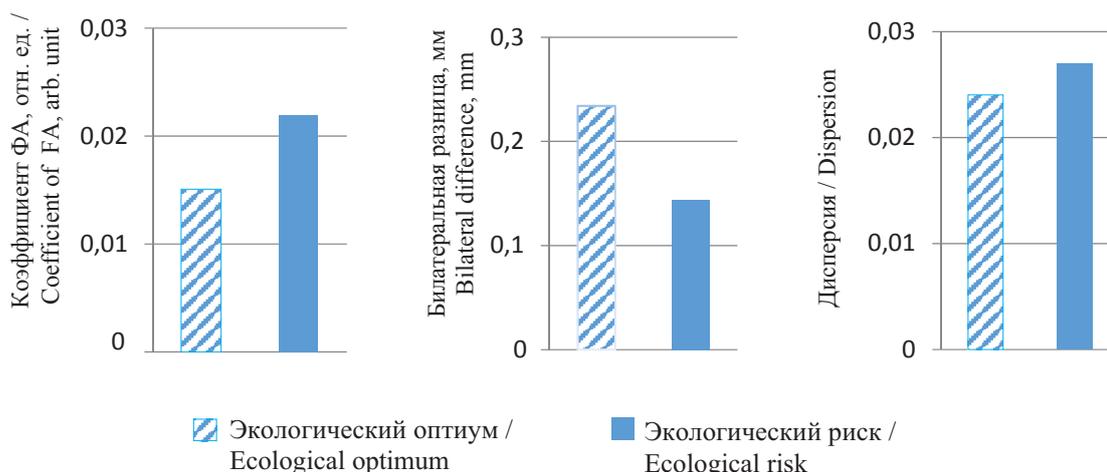
## Результаты и их обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели коэффициента ФА, билатеральной разницы и дисперсии выше на территории экологического риска (рисунок). Так, в рискованной зоне среднее значение билатеральной разницы в 15,7 раз, коэффициента ФА – в 1,46, дисперсии в 1,1 раз выше по сравнению с контрольной зоной.

При повышении уровня техногенного загрязнения среды повышается и уровень нарушения стабильности развития морфогенеза листьев, что выражается в повышении уровня отклонения исследуемого морфометрического признака от строгой билатеральной симметрии.

В нижеследующей таблице показаны количественные показатели кинетических кривых мсЗФ хл. а в листьях каштанолистного дуба, произрастающих на отличающихся по степени загрязнения территориях. Эти показатели в зависимости от места произрастания заметно отличаются. Интенсивность как быстрой фазы, так и медленной фазы индукционной кривой мсЗФ хл. а листьев дуба, растущих на экологически рискованной территории, уменьшаются по сравнению с экологически оптимальной территорией.

Подавление БФ указывает на то, что исследуемый фотосинтезирующий объект находится в состоянии стресса, а это означает, что не все акцепторы электронов ФС 2 могут быть полностью восстановлены. БФ зависит в том числе и от содержания хлорофилла. Подавление МФ



Показатели флуктуирующей асимметрии листьев каштановидного дуба  
Indicators of fluctuating asymmetry of leaves of chestnut-leaved oak

**Параметры мсЗФхл. *a* листьев *Q. castaneifolia* и отношение интенсивности фаз мсэж-ЗЭС к интенсивности стационарного уровня, отн. ед.**  
**Parameters msZFKhl. *a* of *Q. castaneifolia* leaves and the ratio of the phase intensity of msec-ZES to the intensity of the stationary state level, arb. unit**

Зона / Zone	БФ / FP	МФ / SP	СУ / SS	БФ/СУ / FP/SS	МФ/СУ / SP/SS
Экологический оптимум / Ecological optimum	20±2	17,5±0,5	2,9±0,8	7±1,24	6,24±1,52
Экологический риск / Ecological risk	15,6±0,92	14,6±1,44	5,6±0,2	2,8±0,04	2,6±0,15

Примечание. БФ – быстрая фаза; МФ – медленная фаза; СУ – стационарный уровень.  
Note. FP – fast phase; SP – slow phase; SS – stationary state level.

указывает на то, что исследуемый фотосинтезирующий объект находится в состоянии стресса, которым обусловлено нарушение электронного транспорта между *Qa* и *Qb* и остальной частью электрон-транспортной цепи. В условиях стресса высота стационарного уровня в 1,9 раз выше по сравнению с экологически оптимальной территорией, значит и эффективность процесса фотосинтеза каштановидного дуба в условиях экологического риска ниже чем в экологически оптимальных условиях.

Соотношение значения интенсивности быстрой фазы к значению стационарного уровня БФ/СУ в листьях каштановидного дуба из экологически оптимальной зоны в 2,5 раз, а соотношение значения медленной фазы к значению стационарного уровня МФ/СУ в 2,4 раз больше по сравнению с экологически рискованной зоной. Понижение этих показателей в условиях экологического стресса указывает на то, что у листьев каштановидного дуба события, происходящие как на акцепторной, так и на донорной

стороне ФС II, одинаково чувствительны к стрессовым условиям среды. Параметр МФ/СУ характеризует фотохимическую активность ФС II и чувствителен к ингибированию световой фазы фотосинтеза, что делает этот показатель эффективным средством мониторинга стрессовых воздействий окружающей среды на растение. Понижение соотношения МФ/ СУ обусловлено ингибированием ФС II и уменьшением доли реакционных центров ФС II, не способных к восстановлению *Qb*. Понижение соотношения БФ/СУ связано с нарушениями на акцепторной стороне РЦФС II.

**Заключение**

В ходе исследований выявлено, что повышение уровня загрязнения приводит к возрастанию уровня нестабильности развития билатеральных признаков листьев. Донорная и акцепторная стороны ФС II проявляют достаточно высокую чувствительность к стрессовому воздействию, что приводит в целом к понижению эффективности



процесса фотосинтеза в условиях экологического риска. На основании проведенных исследований сделано заключение о том, что каштановый дуб (*Quercus castaneifolia* С. А. Мей.) может быть использован в качестве растения-монитора для экспресс-диагностики качества среды, так как и морфологические и физиологические параметры листьев проявляют большую чувствительность к стрессовым воздействиям среды.

#### Список литературы

1. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды : методика оценки. М. : Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
2. Franiel J. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality // Biodiv. Ros. Conserv. 2008. Vol. 9–10. P. 7–10.
3. Мамедова А. О. Фитокомпоненты в оценке и управлении качеством окружающей среды // Вестн. гос. обл. ун-та. Сер. Естественные науки. 2010. № 4. С. 58–62.
4. Григорьев Ю. С., Пахарькова Н. В., Прудникова С. В., Крючкова О. Е. Биологический контроль состояния окружающей среды : учеб. пособие по лабораторному практикуму. Красноярск : ИПК СФУ, 2008. 80 с.
5. Рубин А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Сорос. образоват. журн. 2000. Т. 6, № 4. С. 7–13.
6. Agati G. Response of the in vivo chlorophyll fluorescence spectrum to environmental factors and laser excitation wavelength // Pure App. Opt. 1998. Vol. 7. P. 797–807.
7. Заворуева Е. Н., Заворуев В. В. Флуоресцентный мониторинг фотосинтетического аппарата мелколистных деревьев при антропогенном воздействии // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 4. С. 319–321.
8. Thach L. B., Shapcott A., Schmidt S., Critchley C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Craptophyllum species and their stress responses // Photosynthesis Research. 2007. May. Vol. 94, № 2. P. 423–436.
9. Нестеренко Т. В., Тихомиров А. А., Шихов В. Н. Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям // Журн. общ. биологии. 2007. Т. 68, № 6, ноябрь–декабрь. С. 444–458.
10. Goltsev V., Zaharieva I., Chernev P., Strasser R. Delayed Chlorophyll Fluorescence as a Monitor for Physiological State of Photosynthetic Apparatus // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2009. Vol. 23, № 1. P. 452–457. DOI: 10.1080/13102818.2009.10818461
11. Флора Азербайджана. Баку : Изд-во АН Азербайджана, 1957. Т. VII. 646 с.
12. Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // Evolution. 1962. Vol. 16, № 2. P. 125–142.
13. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability : implications of non-normal distributions and power of statistical tests // Acta Zool. Fenn. 1992. Vol. 191. P. 57–72.
14. Лакин Т. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 349 с.
15. Salvatore D., Reagle D. Theory and problems of statistics and econometrics. 2<sup>nd</sup> ed. N.Y. : McGraw-Hill, 2002. 328 p.
16. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение Росэкология от 16.10.2003. № 460-р. М., 2003. 28 с.
17. Моторин Д. Н., Венедиктов П. С., Рубин А. Б. Замедленная флуоресценция и ее использование для оценки состояния растительного организма // Изв. АН СССР. Сер. Биологическая. 1985. № 4. С. 508–520.
18. Кюрдов Б. А., Гасанов Р. А. Зависимость скорости формирования различных фаз индукционной кривой замедленной флуоресценции зеленеющих проростков пшеницы от активности фитохрома // Изв. АН Азербайджана. Сер. Биол. науки. 1988. № 5. С. 3–9.
19. Абдуллаев Х. Д., Гасанов Р. А. Биофизические механизмы стрессовых реакций. Баку : TURXAN-NPB, 2014. 208 с.
20. Gasanov R., Aliyeva S., Mamedov F. Delayed Fluorescence in a millisecond Range-a Probe for the Donor Side Induced Photoinhibition of photosystem II // Photosynthesis: overview on recent progress and future perspectives / eds. S. Hot, P. Mohanty, K. Guruprasad. New Delhi : I K International Publishing House Pvt. Ltd., 2011. P. 101–107.
21. Mahmudov Z. M., Abdullayev Kh. D., Gasanov R. A. Photoinhibition in vivo of photosystem II reactions during development of the photosystems of wheat seedling // Photosynth. Research. 2005. № 84. P. 9–14.

#### Образец для цитирования:

Мамедова Р. Н. Исследование параметров флуоресценции хлорофилла и флуктуирующей асимметрии листьев древесного растения – *Quercus castaneifolia* С. А. Мей. в условиях города Баку, Азербайджан // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 207–211. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-207-211>

#### Investigation of Chlorophyll Fluorescence Parameters and Fluctuating Asymmetry of Leaves of Woody Plant – *Quercus castaneifolia* С. А. Мей. in the City of Baku, Azerbaijan

R. N. Mamedova

Roza N. Mamedova, <https://orcid.org/0000-0001-8978-374X>, Baku State University, 23 Z. Chalilov St., AZ 1148, Baku, Azerbaijan, roza2919@mail.ru

The article presents the results of the study of morphometric and physiological parameters of the leaves of the woody plant-chestnut oak (*Quercus castaneifolia* S. A. Mey.). The study was conducted in Baku, which is the capital of the Republic of Azerbaijan, to assess the bioindicative properties and prospects of using this plant in environmental monitoring and landscaping of the city. To conduct a comparative analysis of the results, leaf samples were collected in the areas of the city that differ in the degree of environmental pollution. Morphometric parameters were investigated by the method of fluctuating asymmetry



of bilateral morphological signs of leaves. It was found that the increase in the level of anthropogenic pollution leads to an increase in the value of the fluctuating asymmetry of chestnut oak leaves. In parallel with the morphological parameters, the functional activity of photosystem II of the leaf photosynthetic apparatus was studied based on the analysis of the parameters of the induction curves of the millisecond delayed fluorescence component of chlorophyll a. The intensities of phases were compared, as well as the ratio of the phase intensity of the millisecond delayed fluorescence component of chlorophyll a to the intensity of the stationary level. The variation of these parameters depending on the different degrees of technogenic load on the plants's growing environment. Under environmental risk, both the fast and slow phases are suppressed and the efficiency of photosynthesis is reduced. Based on the obtained results, it was concluded that chestnut oak can be used as a monitor plant for rapid diagnosis of environmental quality, as the studied morpho-physiological parameters are sensitive to environmental stress.

**Keywords:** bioindication, chlorophyll fluorescence, fluctuating asymmetry.

Received: 06.11.2019 / Accepted: 10.12.2019 / Published: 01.06.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

## References

- Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I., Valetskiy A. V., Kryazheva N. G., Chistyakova E. K., Chubinishvili A. T. *Zdorov'e sredy: metodika otsenki* [Environmental health: assessment methodology]. Moscow, Tsentr ekologicheskoi politiki Rossii, 2000. 68 p. (in Russian).
- Franiel J. Fluctuating asymmetry of *Betulapendula* Roth. leaves – an index of environment quality. *Biodiv. Ros. Conserv.*, 2008, vol. 9–10, pp. 7–10.
- Mamedova A. O. Phytocomponents in the assessment and management of environmental quality. *Bulletin of Moscow State Regional University. Series "Natural Sciences"*, 2010, no. 4, pp. 58–62 (in Russian).
- Grigoriev Yu. S., Pakharkova N. V., Prudnikova C. B., Kryuchkova O. E. *Biologicheskij kontrol' sostoyaniya okruzhayushchej sredy* [Biological control of the state of the environment]. Krasnoyarsk, IPK SFU, 2008. 80 p. (in Russian).
- Rubin A. B. Biophysical methods in environmental monitoring. *Soros Educational Journal*, 2000, vol. 6, no. 4, pp. 7–13 (in Russian).
- Agati G. Response of the in vivo chlorophyll fluorescence spectrum to environmental factors and laser excitation wavelength. *Pure App. Opt.*, 1998, vol. 7, pp. 797–807.
- Zavorueva E. N., Zavoruev V. V. Fluorescent monitoring of the photosynthetic apparatus of small-leaved trees under anthropogenic impact. *Atmospheric and Ocean Optics.*, 2006, vol. 19, no. 4, pp. 319–321 (in Russian).
- Thach L. B., Shapcott A., Schmidt S., Critchley C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Craptophyllum species and their stress responses. *Photosynthesis Research*, 2007, May, vol. 94, no. 2, pp. 423–436.
- Nesterenko T. V., Tikhomirov A. A., Shikhov V. N. Induction of chlorophyll fluorescence and assessment of plant resistance to unfavorable effects. *Journal of General Biology*, 2007, vol. 68, no. 6, November-December, pp. 444–458 (in Russian).
- Goltsev V., Zaharieva I., Chernev P., Strasser R. Delayed Chlorophyll Fluorescence as a Monitor for Physiological State of Photosynthetic Apparatus. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2009, vol. 23, no. 1, pp. 452–457. DOI: 10.1080/13102818.2009.10818461
- Flora Azerbajdzhana* [Flora of Azerbaijan]. Baku, Izd-vo AN Azerbaijan, 1957, vol. VII. 646 p. (in Russian).
- Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 1962, vol. 16, no. 2, pp. 125–142.
- Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zool. Fenn.*, 1992, vol. 191, pp. 57–72.
- Lakin T. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 349 p. (in Russian).
- Salvatore D., Reagle D. *Theory and problems of statistics and econometrics*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, McGraw-Hill, 2002. 328 p.
- Metodicheskie rekomendacii po vypolneniyu ocenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyh sushchestv (ocenka stabil'nosti razvitiya zhivyh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur). Rasporyazhenie Rosekologiya ot 16.10.2003. No. 460-p.* [Methodological recommendations for assessing the quality of the environment according to the state of living organisms (assessment of the stability of the development of living organisms according to the level of asymmetry of morphological structures). Rosekologia, order dated 16.10.2003. No. 460-p.]. Moscow, 2003. 28 p. (in Russian).
- Motorin D. N., Venediktov P. S., Rubin A. B. Slowed-down fluorescence and its use for assessing the state of a plant organism. *Bulleten of Academy of Sciences of USSR. Ser. Biology*, 1985, no. 4, pp. 508–520 (in Russian).
- Kyurdov B. A., Hasanov R. A. Dependence of the rate of formation of various phases of the induction curve of the delayed fluorescence of greening wheat seedlings on phytochrome activity. *Bulleten of Academy Science of Azerbaijan. Series of Biology*, 1988, no. 5, pp. 3–9 (in Russian).
- Abdullaev Kh. D., Hasanov R. A. *Biofizicheskie mekhanizmy stressovykh reakcij* [Biophysical mechanisms of stress reactions]. Baku, TURXAN-NPB, 2014. 208 p. (in Russian).
- Gasnov R., Aliyeva S., Mammedov F. Delayed Fluorescence in a millisecond Range-a Probe for the Donor Side Induced Photoinhibition of photosystem II. In: S. Hot, P. Mohanty, K. Guruprasad, eds. *Photosynthesis: overview on recent progress and future perspectives*. New Delhi, I K International Publishing House Pvt. Ltd., 2011, pp. 101–107.
- Mahmudov Z. M., Abdullayev Kh. D., Gasnov R. A. Photoinhibition in vivo of photosystem II reactions during development of the photosystems of wheat seedling. *Photosynth. Research*, 2005, no. 84, pp. 9–14.

## Cite this article as:

Mamedova R. N. Investigation of Chlorophyll Fluorescence Parameters and Fluctuating Asymmetry of Leaves of Woody Plant – *Quercus castaneifolia* C. A. Mey. in the City of Baku, Azerbaijan. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 207–211 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-207-211>