



МРНТИ 87.15.21
Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-148-3-150-157>

Оценка уровня аэротехногенного загрязнения атмосферы г. Кокшетау

А.И. Григорьев 

Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

(E-mail: aigrigoryew@mail.ru)

Аннотация. В данной статье исследуется возможность применения показателя флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) для оценки состояния городской среды. Предлагаемый метод основан на выявлении отклонений от билатеральной симметрии в развитии листьев, возникающих под воздействием антропогенных факторов. Автор рассматривает флуктуирующую асимметрию как индикатор стрессового состояния растений, вызванного загрязнением окружающей среды, и анализируют ее потенциал для биоиндикации уровня антропогенной нагрузки в городах.

Несмотря на низкий уровень загрязнения воздуха по данным стационарных наблюдений, авторы исследуют возможность применения более чувствительного метода оценки – анализа флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как индикатора антропогенной нагрузки.

В работе описаны особенности проявления ФА у растений, обоснован выбор березы повислой как биоиндикатора и представлена методика оценки ФА листовых пластинок по пяти морфометрическим признакам. Для исследования были выбраны четыре пункта наблюдения в черте города Кокшетау с разной степенью антропогенной нагрузки и контрольная точка за городом. Полученные данные позволяют оценить влияние городской среды на уровень ФА листьев березы и сделать выводы о состоянии атмосферного воздуха в исследуемых районах города.

Ключевые слова: биоиндикация, асимметрия листовой пластинки, индекс загрязнения атмосферы, интегральный показатель стабильности.

Введение

Загрязнение атмосферы является следствием воздействия естественных и антропогенных источников. В любом конкретном месте загрязнение воздуха происходит не только из местных источников, но и из источников, которые влияют на качество воздуха в региональном и даже глобальном масштабе [1]. Основной причиной возникновения проблем с качеством воздуха является рост городского населения, поскольку люди постоянно переезжают из сельской местности в города. В городских районах загрязнение атмосферы выше из-за сочетания многих элементов, таких как промышленная деятельность, предприятия по производству энергии и бытовое отопление, выхлопные газы автомобилей и т.д. [2]. Они заметны по токсикологическим эффектам, возникающими в результате длительного воздействия при вдыхании [3].

Качество атмосферного воздуха определяет уровень здоровья населения и состояние биогеоценозов [4]. Основными источниками выбросов загрязняющих веществ на территории г. Кокшетау являются автотранспорт и предприятия теплоэнергетики. За 2023 год по данным стационарной сети наблюдений Казгидромет (Таблица 1) атмосферный воздух города Кокшетау характеризуется низким уровнем загрязнения. ИЗА составил 2,5. СИ равен 2,8 и НП =14,6%. Воздух города более всего загрязнен взвешенными веществами [5].

Таблица 1. Характеристика загрязнения атмосферного воздуха города Кокшетау

Примесь	Средняя концентрация (г.с.с.)		Максимальная разовая концентрация (г.м.р.)		Число случаев превышения ПДК		
	мг/м ³	Кратность превышения ПДК _{с.с.}	мг/м ³	Кратность превышения ПДК _{м.р.}	>ПДК	>5ПДК	>10ПДК
Взвешенные вещества	0,1516	1,0108	1,4	2,8	81		
Взвешенные частицы РМ-10	0,1156	1,927	0,497	1,657	344		
Диоксид серы	0,030	0,593	0,297	0,594			
Оксид углерода	0,389	0,130	13,717	2,743	61		
Диоксид азота	0,019	0,476	0,350	1,751	604		
Оксид азота	0,023	0,387	0,849	2,123	131		

Примечание: составлено на основании данных [5]

В целом по городу среднемесячные концентрации взвешенных частиц РМ-10 составила 1,9 ПДК_{с.с.}, остальных загрязняющих веществ не превышали ПДК. Число случаев превышения более 1 ПДК наблюдалось по диоксиду азота – 604, взвешенным частицам РМ-10 – 344, взвешенным веществам – 81, оксиду углерода - 61, по оксиду азота - 131 случаев [5].

Для интегральной характеристики качества окружающей среды можно основываться на оценке состояния живых организмов по их условиям развития, которые характеризуются уровнем флуктуирующей асимметрии (ФА) морфологических структур [6].

Флуктуирующую асимметрию в живой природе можно рассматривать как широко распространенное явление. Им охвачены практически все билатеральные структуры у самых разных живых существ [7]. Однако, невозможно провести анализ известных признаков всех билатерально - симметричных структур организмов, но у листьев древесных растений, флуктуирующая асимметрия может успешно регистрироваться

[8]. Наряду с этим, данное явление наблюдалось и при иных типах асимметрии, в этом случае она представляет собой отклонения не от строгой симметрии, а от определенно обозначенной средней симметрии.

Явление симметрии в природе, как вид согласованности отдельных частей, который объединяет их в единое целое - одно из наиболее общих явлений, свойственное неживой и живой материи на разных уровнях организации. Флуктуирующая асимметрия описывает диапазон случайных отклонений от абсолютной симметрии, возникающих в ходе онтогенеза и не имеющих самостоятельного адаптивного значения [9].

Исследования В.П. Иванов, Ю.В. Иванова, С.И. Марченко, Вл.В. Кузнецова показывают, что применение интегрального индекса флуктуирующей асимметрии (ФА), рассчитанного для группы морфометрических признаков, потенциально позволяет выявить ФА листа, обнаружение которой невозможно при изучении единственного признака [10].

Материалы и методы

Объектом исследования является воздушная среда города Кокшетау. Для определения состояния атмосферного воздуха города был использован пассивный биоиндикационный метод оценки качества среды. В то время как, предметом исследования является флуктуирующая асимметрия листовой пластины березы повислой (*Betula pendula Roth.*). Данный вид хорошо представлен в лесной и лесостепной зонах, достаточно широко и успешно применяется в качестве биоиндикатора окружающей среды, отражая довольно обширный спектр внешних воздействий.

Для исследований был проведен отбор трех пунктов наблюдений на территории города, которые расположены на центральные аллеи города (пункт наблюдения №1), оживленной дороге по ул. Ауельбекова (пункт наблюдения №2) и городском парке (пункт наблюдения №3). В качестве контроля был взят лесной массив в западном направлении от г.Кокшетау на удалении 25км от города Кокшетау (пункт наблюдения №4).

Пункт наблюдения №1 - Центральная аллея, располагается по улице Сатпаева, является местом отдыха и большого скопления жителей города. Вдоль аллеи имеется большое количество многолетних зеленых насаждений в виде берез, яблонь и елей. Дорога вдоль аллеи выложена брусчаткой, и в летнее время можно наблюдать за ростом зеленых газонов. Длина аллеи составляет около 230 м, ширина 8-10 м. Вдоль аллеи, на расстоянии 4-8 м расположены жилые и административные здания. Дорожные пути располагаются в 13-14 м с каждого края аллеи. Место было выбрано по причине соединения в себе на данном участке жилого комплекса, зеленых посадок и находящемся на среднем расстоянии транспортных дорог.

Пункт наблюдения №2 - Дорога, расположенная вдоль улицы Ауельбекова, на участке от пересечения улицы Горького до пересечения улицы Сатпаева. Данный участок характеризуется интенсивным движением, высокой загруженностью улиц автотранспортом. Вдоль улицы имеются двусторонние многоэтажные постройки, а также зеленые насаждения тополя, березы, карагач.

Пункт наблюдения №3 - Городской парк расположен на участке занимающий площадь $S=5$ га, между параллельно расположенными улицами Абая и Ауэзова. Отличается от городских районов тем, что отдален от жилой застройки и средне отдален от дорожных путей города. Доступ автотранспорта на территория парка

ограничен. Имеет высокую плотность расположения зеленых насаждений, в виде многолетних деревьев и трав.

Пункт наблюдения №4 - Лес вдали от города. Расположен вне территории города, далее западной его, вдоль трассы на г. Костанай. Площадь леса примерно равна $S=24$ га. Данная территория использована в работе в качестве контрольной точки. Дорожная сеть располагается на удалении 15 км от леса.

Согласно методике, проводились измерения по пяти параметрам:

1 – ширина левой и правой половинок листа. Для измерения лист складывают пополам, совмещая верхушку с основанием листовой пластинки. Затем измеряется расстояние от границы центральной жилки до края листа.

2 – расстояние от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листа.

3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка.

4 – расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка.

5 – угол между главной жилкой и второй, от основания листа, жилкой второго порядка.

На ключевых пробных площадях отбирались листья в количестве 10 штук с каждого модельного дерева с нижней части кроны, на высоте 160-180 см от поверхности земли. Количество модельных деревьев составляло 10 штук. В целом с каждой пробной площади было взято 100 штук листьев.

Степень нарушения морфологического строения листьев березы повислой и отклонения его от нормы оценивали по пятибалльной шкале В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова (1996г.) [11], в модификации А.И. Григорьева и Ю.А. Курило (2013г.) [12].

Результаты и обсуждение

В результате было выявлено, что показатель ФА листовой пластинки березы повислой на территории г. Кокшетау выше нормы на оживленной дороге по улице Ауельбекова, в остальных точках в пределах нормы (Таблица 2).

Таблица 2. Показатель ФА листовой пластинки березы повислой

№ n/n	Пункт отбора	Показатель ФА	Балл	Уровень загрязнения
1	Центральная аллея	0,049	1	Условно нормальное
2	ул. Ауельбекова	0,063	3	Средний уровень отклонений от нормы
3	Городской парк	0,037	1	Условно нормальное
4	Лес (контроль)	0,032	1	Условно нормальное

Примечание: составлено на основании данных автора

Анализ флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth. как маркер уровня антропогенной нагрузки в г. Кокшетау

Заключение

Результаты исследования показали четкую корреляцию между уровнем флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластинок *Betula pendula* Roth. и степенью антропогенной нагрузки в различных районах г. Кокшетау.

Максимальные значения показателя ФА были зарегистрированы на пробной площади №2, характеризующейся интенсивным движением автотранспорта. Это свидетельствует о выраженном негативном воздействии выбросов автотранспорта на морфогенез растений, приводящем к нарушениям билатеральной симметрии листьев.

Минимальные значения ФА, приближенные к фоновым, зафиксированы на контрольной пробной площади №4, расположенной вне зоны активного антропогенного воздействия. Данный результат подтверждает чувствительность выбранного биоиндикационного метода и возможность его применения для оценки состояния урбанизированных территорий.

Анализ ФА листьев, собранных на пробных площадях №1 (пешеходная зона) и №3 (городской парк), продемонстрировал промежуточные значения показателя, что указывает на более благоприятную экологическую обстановку в районах с ограниченным движением автотранспорта и развитой системой озеленения.

Таким образом, полученные данные подтверждают неоднородность уровня аэротехногенного загрязнения на территории г. Кокшетау. Использование биоиндикационного метода с анализом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth. продемонстрировало свою эффективность для оценки и мониторинга состояния городской среды.

Финансирование: нет.

Конфликт интересов: нет конфликта интересов.

Список литературы

1. Battista G., Pagliaroli T., Mauri L., Basilicata C., De Lieto Vollaro R. Assessment of the Air Pollution Level in the City of Rome (Italy) // Sustainability. - 2016. - Vol. 8, № 9. - P. 838. <https://doi.org/10.3390/su8090838>

2. Guerrieri M., Corriere F., Rizzo G., Casto B., Scaccianoce G. Improving the Sustainability of Transportation: Environmental and Functional Benefits of Right Turn By-Pass Lanes at Roundabouts // Sustainability. - 2015. - Vol. 7, № 5. - P. 5838–5856. <https://doi.org/10.3390/su7055838>

3. Schiavon M., Redivo M., Antonacci G., Rada E.C., Ragazzi M., Zardi D., Giovannini L. Assessing the air quality impact of nitrogen oxides and benzene from road traffic and domestic heating and the associated cancer risk in an urban area of Verona (Italy) // Atmospheric Environment. - 2015. - Vol. 120. - P. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.054>

4. Звягинцева О. Ю. Оценка качества атмосферного воздуха по величине флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – №. 1 (42). – С. 87-91.

5. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан РГП «Казгидромет». – 2015. – 96 с.

6. Захаров В. М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова А.Т., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. - М.: Центр экологической политики России, 2000. – С. 27-36.

7. Кубрина Л.В. Использование флуктуирующей асимметрии листа березы повислой для диагностики состояния техногенных территорий // Естественные науки и экология. Ежегодник. Омский государственный педагогический университет. – 2016. - С. 18-22.

8. Розенберг Г. С. Принципы симметрии в экологии (Мысли вслух) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2011. – Т. 20. №. 3. – С. 5-16.

9. Кубрина Л.В., Григорьев А.И., Донец Е.В. Биоиндикация состояния окружающей среды: учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2012. – 136 с.

10. Иванов В.П., Иванов Ю.В., Марченко С.И., Кузнецов В.В., Использование индексов флуктуирующей асимметрии березы повислой для диагностики состояния фитоценозов в условиях техногенного загрязнения // Физиология растений. – 2015. - Т.62. № 3. - С. 368-377.

11. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю. Последствия Чернобыльской катастрофы: здоровье среды. - М.: Моск. Отделение Междунар. фонда «Биотест», 1996. - 170 с.
12. Григорьев А.И., Курило Ю.А. Экологическая оценка нефтешламowego загрязнения природных экосистем электрометрическим методом (на примере березы повислой *Betula pendula Roth.*): монография. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2013. – С. 32-34.

А.И. Григорьев

Омбы мемлекеттік педагогикалық университеті, Омск, Ресей

Көкшетау қаласы атмосферасының аэротехногендік ластану деңгейін бағалау

Андатпа. Бұл мақалада қалалық ортаның жай-күйін бағалау үшін қайың жапырағының тербелмелі асимметриясының индикаторын қолдану мүмкіндігі зерттеледі (*Betula pendula Roth.*) Ұсынылған әдіс антропогендік факторлардың әсерінен пайда болатын жапырақтардың дамуындағы екі жақты симметриядан ауытқуларды анықтауға негізделген. Автор өзгермелі асимметрияны қоршаған ортаның ластануынан туындаған өсімдіктердің стресстік күйінің көрсеткіші ретінде қарастырады және оның қалалардағы антропогендік жүктеме деңгейін биоиндикациялау әлеуетін талдайды.

Стационарлық бақылаулардың деректері бойынша ауаның ластану деңгейінің төмендігіне қарамастан, авторлар ілулі қайың жапырағының (*Betula pendula Roth.*) тербелмелі асимметриясын (fa) антропогендік жүктеменің индикаторы ретінде бағалау-талдаудың неғұрлым сезімтал әдісін қолдану мүмкіндігін зерттейді.

Жұмыста өсімдіктердегі ФА көрінісінің ерекшеліктері сипатталған, биоиндикатор ретінде ілулі қайыңды таңдауға негізделген және бес морфометриялық белгілер бойынша жапырақ тақталарының фа бағалау әдістемесі ұсынылған. Зерттеу үшін әр түрлі дәрежедегі антропогендік жүктемесі бар Көкшетау қаласының шегінде төрт бақылау пункті және қаладан тыс бақылау пункті таңдалды. Алынған нәтижелер қайың жапырақтарының ФА деңгейіне қалалық ортаның әсерін бағалауға және қаланың зерттелетін аудандарындағы атмосфералық ауаның жай-күйі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: биоиндикация, жапырақ тақтасының асимметриясы, атмосфераның ластану индексі, тұрақтылықтың интегралды көрсеткіші.

A.I. Grigoriev

Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

Assessment of the level of aerotechnogenic atmospheric pollution in Kokshetau

Abstract: This article examines the possibility of using the indicator of fluctuating asymmetry of the leaf blade of the hanging birch (*Betula pendula Roth.*) to assess the state of the urban environment. The proposed method is based on the identification of deviations from bilateral symmetry in leaf development that occur under the influence of anthropogenic factors. The author considers fluctuating asymmetry as an indicator of the stress state of plants caused by environmental pollution, and analyzes its potential for bioindication of the level of anthropogenic load in cities.

Despite the low level of air pollution according to stationary observations, the authors explore the possibility of using a more sensitive assessment method - analysis of the fluctuating asymmetry (FA) of the leaf blade of the hanging birch (*Betula pendula Roth.*) as an indicator of anthropogenic load.

The paper describes the features of FA manifestation in plants, justifies the choice of hanging birch as a bioindicator, and presents a methodology for evaluating FA of leaf blades according to five morphometric characteristics. Four observation points within the city of Kokshetau with varying degrees of anthropogenic load and a control point outside the city were selected for the study. The data obtained will allow us to assess the impact of the urban environment on the FA level of birch leaves and draw conclusions about the state of atmospheric air in the studied areas of the city.

Keywords: bioindication, leaf plate asymmetry, atmospheric pollution index, integral stability indicator.

References

1. Battista G., Pagliaroli T., Mauri L., Basilicata C., De Lieto Vollaro R. Assessment of the Air Pollution Level in the City of Rome (Italy) // Sustainability. - 2016. - Vol. 8, № 9. - P. 838. <https://doi.org/10.3390/su8090838>
2. Guerrieri M., Corriere F., Rizzo G., Casto B., Scaccianoce G. Improving the Sustainability of Transportation: Environmental and Functional Benefits of Right Turn By-Pass Lanes at Roundabouts // Sustainability. - 2015. - Vol. 7, № 5. - P. 5838–5856. <https://doi.org/10.3390/su7055838>
3. Schiavon M., Redivo M., Antonacci G., Rada E.C., Ragazzi M., Zardi D., Giovannini L. Assessing the air quality impact of nitrogen oxides and benzene from road traffic and domestic heating and the associated cancer risk in an urban area of Verona (Italy) // Atmospheric Environment. - 2015. - Vol. 120. - P. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.054>
4. Zvjaginцева О. Ю. Оценка качества атмосферного воздуха по величине флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth [Assessment of atmospheric air quality based on the value of fluctuating asymmetry *Betula pendula* Roth] // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: Естественные науки [Scientific notes of Transbaikal State University. Series: Natural Sciences]. – 2012. – №. 1 (42). – P. 87-91. [in Russian]
5. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан [Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan] Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан РГП «Казгидромет» [Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan RSE "Kazhydromet"]. – 2015. – P. 96 [in Russian]
6. Zaharov V. M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valeckij A.V., Krjazheva N.G., Chistjakova A.T., Chubinishvili A.T. Zdorov'e sredy: metodika ocenki [Environmental health: assessment methodology] (M.: Centr jekologicheskoy politiki Rossii, 2000., P. 27-36.) [in Russian]
7. Kubrina L.V. Ispol'zovanie fluktuirujushhej asimetrii lista berezy povisloj dlja diagnostiki sostojanija tehnogennyh territorij [Using fluctuating asymmetry of silver birch leaves to diagnose the state of technogenic territories] Estestvennye nauki i jekologija. Ezhegodnik. Omskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet [Natural sciences and ecology. Yearbook. Omsk State Pedagogical University.]. – 2016. - P. 18-22. [in Russian]
8. Rozenberg G. S. Principy simmetrii v jekologii (Mysli vsluh) [Principles of symmetry in ecology (Thinking out loud)] Samarskaja Luka: problemy regional'noj i global'noj jekologii. – 2011. – T. 20. №. 3. – P. 5-16. [in Russian]
9. Kubrina L.V., Grigor'ev A.I., Donec E.V. Bioindikacija sostojanija okruzhajushhej sredy: ucheb. posobie. [Bioindication of environmental conditions] – Omsk: Izd-vo OmGPU, 2012. – 136 p. [in Russian]
10. Ivanov V.P., Ivanov Ju.V., Marchenko S.I., Kuznecov V.I., Ispol'zovanie indeksov fluktuirujushhej asimetrii berezy povisloj dlja diagnostiki sostojanija fitocenofov v uslovijah tehnogennoj zagrjaznenija [Using fluctuating asymmetry indices of silver birch to diagnose the state of phytocenoses under conditions of technogenic pollution] Fiziologija rastenij [Plant Physiology]. – 2015. - T.62. № 3. - P. 368-377. [in Russian]
11. Zaharov V.M., Krysanov E.Ju. Posledstviya Chernobyl'skoj katastrofy: zdorov'e sredy [Consequences of the Chernobyl disaster: environmental health]. (M.: Mosk. Otdelenie Mezhdunar. fonda «Biotest», 1996, 170 p.) [in Russian]
12. Grigor'ev A.I., Kurilo Ju.A. Jekologicheskaja ocenka nefteshlamovogo zagrjaznenija prirodnyh jekosistem jelektrometricheskim metodom (na primere berezy povisloj *Betula pendula* Roth.): monografija [Ecological assessment of oil sludge pollution of natural ecosystems using the electrometric method (using the example of silver birch *Betula pendula* Roth.): monograph]. [Omsk: Izd-vo OmGPU, 2013. P. 32-34.] [in Russian]

Сведения об авторе:

Григорьев А.И. – автор для корреспонденции, доктор биологических наук, профессор, Омский государственный педагогический университет, ул. Набережная Тухачевского, д. 14, 644000, Омск (Омская обл.), Россия.

Grigoriev A.I. – author for correspondence, Doctor of Biological Sciences, Professor, Omsk State Pedagogical University, st. Tukhachevskogo embankment, 14, 644000, Omsk (Omsk region), Russia.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)