

А.В. Данчева, С.В. Залесов, В.В. Назарова

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА ТЮМЕНЬ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ

Введение. Проблема влияния техногенных нагрузок на состояние окружающей среды современных мегаполисов и крупных городов, которые представляют собой сложные урбоэкосистемы взаимосвязи человека с промышленным производством, системами коммуникации и транспортными узлами, и роль лесных насаждений в данном вопросе, приобретает особую актуальность в последние десятилетия [Видякина и др., 2014; Скрипальщикова и др., 2016; Папинен, 2019; Семчук и др., 2022]. Окружающая среда урбанизированных городов в большей мере подвержена негативному воздействию различных техногенных факторов, таких как химическое загрязнение (выбросы автотранспорта и различных производств), физические нагрузки (шум, вибрация, излучение, электромагнитные поля) и др. Изменения экологической обстановки в городах неизбежно приводят к ухудшению качества жизни горожан: увеличению случаев заболеваний дыхательных путей, появлению дерматитов, конъюнктивитов.

Лесные насаждения в условиях городской среды являются главным природным объектом эффективного снижения загрязнения окружающей среды за счет поглощения и нейтрализации атмосферных токсикантов [Кузнецова, Сотникова, 2016; Данчева, Панкратов, 2021; Клевцова, Михеев, 2021]. При этом в зависимости от степени влияния загрязняющего фактора и его периода продолжительности древесная растительность испытывает стресс, что в конечном итоге приводит к ухудшению ее жизненного состояния, снижению продолжительности жизни, преждевременному отмиранию.

Метод биоиндикации, в основу которого положен принцип оценки качества окружающей среды по наличию и состоянию определенных видов, наиболее чувствительных к внешним воздействиям, является наиболее удобным и простым методом оценки влияния деятельности человека на природные объекты [Осипенко, 2018; Кулик и др., 2021; Коротченко, 2021; Клевцова, 2022].

Одним из наиболее быстро реагирующих на происходящие негативные изменения состояния окружающей среды, степень техногенного воздействия и уровень ее загрязнения, частей дерева является листовая аппарат, его биометрические параметры [Корнилина, 2013; Данчева и др., 2015; Папинен, 2019; Чудновская, 2020]. В качестве надёжного метода определения отклонения морфологических признаков от нормы их развития используется величина интегрального показателя флуктуирующей асимметрии ассимиляционного аппарата.

В настоящее время в России в качестве биоиндикаторов с успехом используются представители родов *Betula*, *Titia*, *Álmus*, *Pópulus*, *Ácer*, *Ulmus*, *Padus* и др. [Кузнецова, 2016; Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., 2018; Папинен, 2019; Клевцова, Михеев, 2021; Чудновская, Чернакова, 2021]. Береза повислая (*Betula pendula* Roth) отличается высокой экологической пластичностью, более быстрым ростом, по сравнению с хвойными породами, устойчивостью к различного рода нагрузкам, обладает высокими пыле- и газоулавливающими свойствами [Залесов и др., 2015; Бачурина, Залесов, 2020; Бунькова, Абраменко, 2020]; чаще других представителей древесных пород (до 78% случаев) используется для озеленения улиц г. Тюмени [Видакина и др., 2014].

В связи с отмечаемым в последние десятилетия увеличением роста населения и территории застройки города Тюмень очень важно иметь актуальные данные о состоянии окружающей среды города, состоянии древесной растительности и успешности выполнения последних защитных функций.

Цель данного исследования – оценить качество среды придорожной территории города Тюмень на основе использования показателя флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth).

Методика исследования. Объектом исследования являлись деревья березы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающие в различных по интенсивности воздействия антропогенного фактора (выбросов автотранспорта) придорожных участках города Тюмень.

Выбор участков определялся по принципу местоположения объектов исследования относительно источника загрязнения среды выбросами автотранспорта, без явных признаков рекреационного воздействия. Деревья березы повислой на объекте 2 характеризуются II классом возраста, на всех других объектах – III–IV классами возраста.

В качестве контроля был использован участок 3, расположенный на территории экопарка Затюменский. Выбор контрольного участка обуслов-

лен тем, что он испытывает минимальные (фоновые) нагрузки выбросов автотранспорта.

Общее расположение исследуемых участков в городе Тюмень приведено на рис. 1. Места сбора материала на объектах указаны на рис. 2.



Рис. 1. Местоположение объектов исследования

Fig. 1. Location of research objects

Объект 1. Участок ул. Барнаульская со стороны Медицинского центра – интенсивное движение автотранспорта (однополосное в обе стороны). Расстояние от дороги – 3 м;

Объект 2. Участок ул. Барнаульская со стороны Центра зимних видов спорта – интенсивное движение автотранспорта (однополосное в обе стороны). Расстояние от дороги – 4 м;

Объект 3. Участок на территории экопарка Затюменский – зона фоновое (условного) уровня загрязнения среды. Расстояние до автодороги не менее 170 м.

Объект 4. Участок ул. Республики – интенсивное движение автотранспорта (трехполосное в обе стороны), регулярно возникают транспортные пробки. Расстояние от дороги – 6 м.

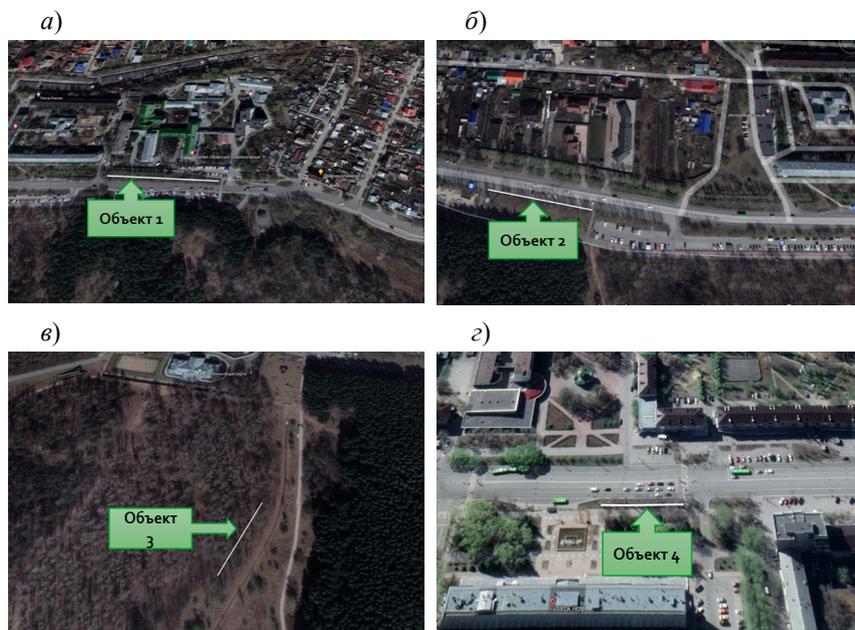


Рис. 2. Место сбора экспериментального материала на объектах
Fig. 2. Place of collection of experimental material at the objects

Сбор экспериментального материала проведен в середине июля 2022 г. В соответствии с методикой сбор экспериментального материала осуществлялся у 10 деревьев березы на каждом участке. Равномерно вокруг каждого дерева со всех доступных веток собиралось 100 листьев из нижней части кроны на высоте 120–150 см [Методические рекомендации, 2003; Бачурина, Залесов, 2020; Бунькова, Абраменко, 2020]. Для исследования выбирались деревья без признаков повреждений. По каждой листовой пластине были произведены измерения левой и правой частей листа по шести параметрам у 400 листьев. Всего проведено 2400 замеров.

При помощи циркуля, линейки и транспортира у каждого листа измерялось по шесть признаков слева и справа: 1) ширина половины листа; 2) длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4) расстояние между окончаниями первой и второй жилок второго порядка; 5) расстояние между окончаниями второй жилки второго порядка и вершиной

листа; 6) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Последовательность расчета величины флуктуирующей асимметрии листа для совокупности измеренных деревьев на объекте:

1) определение отдельно для каждого дерева относительной величины асимметрии каждого листа для данного признака по соотношению модуля разности промеров левой и правой частей листа и суммы этих промеров;

2) определение среднего значения показателя асимметрии каждого листа по шести признакам;

3) определение среднего арифметического значения всех величин асимметрии для выборки листьев каждого дерева;

4) определение среднего значения флуктуирующей асимметрии листа по совокупности всех деревьев для каждого объекта исследования.

Математическая обработка данных с определением достоверности различий анализируемых показателей проведена с использованием функций Excel.

Для оценки степени нарушения, стабильности развития организма растения использовали пятибалльную шкалу [Методические рекомендации, 2003; Бунькова, Абраменко, 2020; Семчук и др., 2022].

Таблица 1

Шкала оценки отклонений состояния среды от условий нормы по величине интегрального показателя стабильности развития

Scale for assessing deviations of the state of the environment from the conditions of the norm by the value of the integral indicator of developmental stability

Балл	Величина интегрального показателя стабильности развития	Значение стабильности развития
I	< 0,040	Стабильное
II	0,040–0,044	Незначительное отклонение
III	0,045–0,049	Средний уровень отклонения
IV	0,050–0,054	Значительное отклонение
V	> 0,054	Критическое состояние

Результаты исследования. Результаты проведенного исследования представлены в табл. 2, где значение флуктуирующей асимметрии листа на исследуемых объектах варьирует в пределах от 0,039 до 0,054 со значени-

ем коэффициента вариации выборки, не превышающим 18%, что указывает на ее однородность или степень выравненности выборки листьев на каждом объекте по признаку их асимметрии. Наименьшим значением величины флуктуирующей асимметрии листа характеризуются деревья березы, произрастающие в экопарке Затюменский. Наибольшие значения анализируемого показателя отмечаются у деревьев березы на объекте 4, расположенном на улице Республики. По показателю флуктуирующей асимметрии листа состояние среды на придорожной территории (в пределах 3–6 м от дороги) улиц Барнаульская и Республики оценивается как критическое или с признаками существенных (значительных) отклонений от нормы.

Таблица 2

Показатели флуктуирующей асимметрии листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и стабильности развития на исследуемых объектах г. Тюмень

Indicators of fluctuating leaf asymmetry of silver birch (*Betula pendula* Roth.) and stability of development on the studied objects in Tyumen

Объект	Показатель флуктуирующей асимметрии, $X \pm m$	Коэффициент изменчивости (С), %	Балл состояния	Качество развития
1. Участок по ул. Барнаульская со стороны Медицинского города	0,054 ± 0,0029	17,3	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
2. Участок по ул. Барнаульская со стороны Центра зимних видов спорта	0,053 ± 0,0020	12,0	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
3. Территория Экопарка Затюменский	0,039 ± 0,0019	15,6	I	Стабильное состояние
4. Участок по ул. Республика со стороны гостиницы Восток	0,056 ± 0,0016	9,3	V	Критическое состояние

Разница между величиной флуктуирующей асимметрии листовой пластинки деревьев на участке условного фонового влияния загрязнения (объект 3) и деревьев, произрастающих вдоль исследуемых участков автодорог (объекты 1, 2 и 4) составляет 0,017 мм, т. е. увеличивается на 40%. Таким образом, по мере удаления от автомобильной дороги отмечаются меньшие различия в асимметрии листьев березы повислой и наибольшая стабильность состояния среды.

По рассчитанным средним значениям показателей флуктуирующей асимметрии листьев березы был определен балл состояния окружающей среды на придорожных территориях города Тюмень, по которому дана оценка ее стабильности. На участках с объектами 1 и 2, расположенными по ул. Барнаульская, по величине интегрального показателя стабильности развития состояние среды характеризуется баллом IV, что является доказательством значительного антропогенного загрязнения окружающей среды, включая загрязнение воздуха, оседание поллютантов на растительность и почвенный покров.

На участке с объектом 4 по ул. Республики состояние среды оценивается баллом V, что является характеристикой критического ее состояния.

Интегральный показатель стабильности развития, определенный по значению флуктуирующей асимметрии листа березы на объекте 3 (территория экопарка Затюменский) соответствует баллу I, что свидетельствует о благоприятных условиях и стабильном состоянии окружающей среды.

Следует отметить, что объекты 1 и 2 расположены в наибольшей близости к автодороге (в 1,5–2,5 раза), в сравнении с объектом 4. При этом показатель флуктуирующей асимметрии листа березы на объекте 4 имеет наибольшее значение, в сравнении с объектами 1 и 2, по которому состояние среды данного участка характеризуется как критическое. Данный факт может быть объяснен расположением объекта 4 в центре города Тюмень и наибольшей антропогенной нагрузкой на территории участка (трехполосное движение автотранспорта в обе стороны) и, следовательно, наибольшим загрязнением окружающей среды выбросами автотранспорта, а также отсутствием рядом с данным участком зеленых зон с древесной растительностью (рис. 1).

Для оценки достоверности различий в значениях асимметрии листа березы повислой на исследуемых объектах сбора экспериментального материала был применен однофакторный дисперсионный анализ, приведенный в табл. 3. Достоверные различия в значении флуктуирующей асимметрии листа березы повислой отмечаются между объектами 1, 2 и 4 с объектом 3, выбранным в качестве контроля (с условным фоновым уров-

нем загрязнения). Таким образом, на участках ул. Барнаульская и ул. Республики наблюдаются существенных достоверные различия в анализируемом показателе в сравнении с участком на территории экопарка Затюменский. При этом существенные различия между участками с объектами, расположенными вблизи дороги, отсутствуют.

Таблица 3

Основные показатели однофакторного дисперсионного анализа
Main indicators of one-way analysis of variance

Сравниваемые объекты	Показали дисперсии асимметрии листа		
	<i>F</i> -фактическое	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -критическое
1 и 3	17,84	0,0005	4,41
2 и 3	25,14	0,00009	4,41
4 и 3	42,37	0,00004	4,41
1 и 2	0,05	0,82	4,41
1 и 4	0,22	0,64	4,41
Объект 2 и объект 4	0,82	0,37	4,41

Статистическая обработка данных, приведенная в табл. 4, свидетельствует о наличие различий в показателе асимметричности листьев березы между объектами.

Таблица 4

Статистические показатели выборок на объектах по средним значениям показателя асимметрии листа по шести признакам
Statistical indicators of samples on objects according to the average values of the leaf asymmetry index for six features

Статистические показатели	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4
Среднее значение асимметрии листа	0,054	0,053	0,039	0,056
Стандартная ошибка	0,0027	0,0028	0,0019	0,0025
Стандартное отклонение	0,028	0,028	0,019	0,026
Дисперсия выборки	0,00077	0,00079	0,00037	0,00066
Асимметричность	1,46	1,23	0,44	1,03
Интервал	0,18	0,15	0,10	0,14
Минимум	0,0051	0,0027	0,0023	0,017
Максимум	0,188	0,158	0,106	0,154
Сумма	5,41	5,36	3,91	5,57
Количество листьев	100	100	100	100

Наименьшая асимметричность листовая пластины отмечается у деревьев березы на объекте 3 внутри парковой зоны экопарка Затюменский (коэффициент асимметрии 0,43). Наибольшими значениями асимметричности листа характеризуются деревья березы повислой на объекте 1, 2 и 4, со значениями данного показателя 1,46, 1,23 и 1,03. То есть асимметричность листьев березы в условиях стабильного состояния среды на объекте 3 в 2,5–3,5 раза меньше, в сравнении с объектами 1, 2 и 4, расположенными вблизи дороги.

Для изучения и выявления особенностей асимметрии каждого измеренного показателя листьев березы (признаков) был проведен анализ соотношения количества листьев с наличием асимметрии по каждому признаку к общему количеству измеренных листьев на изучаемых объектах, представленных на рисунке 3. По данным рисунка 3 наименьшее количество листьев с асимметрией по каждому признаку отмечается на объекте 3 (участок экопарка Затюменский) – от 50% листьев с асимметрией по 3 признаку (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка) до 82% листьев с асимметрией по 5 признаку (расстояние между окончаниями второй жилки второго порядка и вершиной листа). Наибольшим количеством листьев с асимметрией по анализируемым признакам характеризуются деревья березы на объекте 4 (участок ул. Республики с трехполосным движением в обе стороны). Для сравнения количество листьев с асимметрией по признакам 3 и 5 у деревьев березы на данном объекте составляет 74 и 89% соответственно.

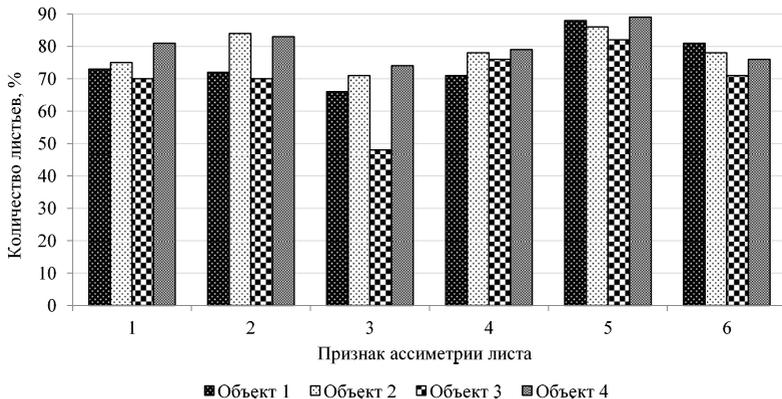


Рис. 3. Соотношение количества листьев березы с асимметрии по каждому признаку на изучаемых объектах

Fig. 3. The ratio of the number of birch leaves with asymmetry for each feature on the studied objects

Проведено распределение средних значений асимметрии листа по каждому признаку на изучаемых объектах, данные которого представлены на рис. 4. Наибольшие значения асимметрии листа на всех объектах наблюдаются по признаку 3 (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка), а наименьшие – по признаку 2 (длина второй от основания листа жилки второго порядка).

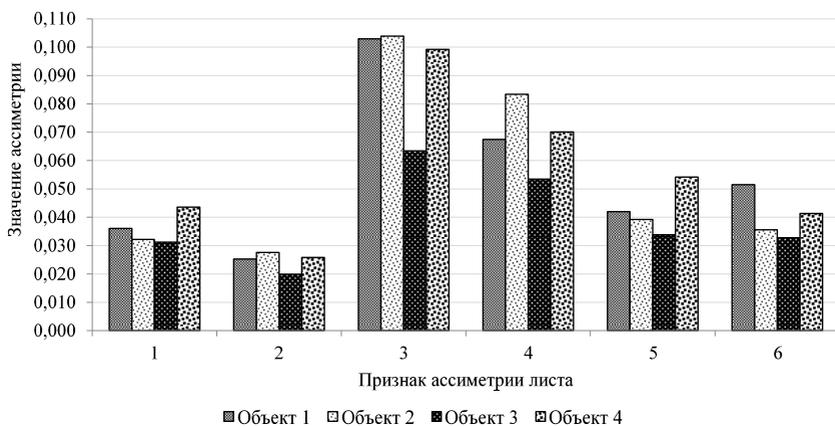


Рис. 4. Распределение средних значений асимметрии листа по каждому признаку на изучаемых объектах

Fig. 4. Distribution of average values of leaf asymmetry for each feature on the studied objects

В зависимости от расположения объектов наименьшими значениями асимметрии по каждому признаку листа, в сравнении с другими объектами, характеризуются деревья березы на объекте 3 (экопарк Затюменский) со стабильным развитием и состоянием среды. На данном участке значение асимметрии листа по каждому признаку меньше на 20–40%, в сравнении с другими объектами.

Наибольшими значениями асимметрии листа по всем признакам характеризуются деревья березы, произрастающие на объектах 1, 2 и 4 вблизи автодорог. Так, например, наибольшими значениями по признакам 1 (ширина половины листа) и 5 (расстояние между окончаниями второй жилки второго порядка и вершиной листа) отличаются деревья березы на объекте 4, в сравнении с аналогичными на объектах 1 и 2. Наибольшими средними значениями асимметрии листа по признакам 4 и 6 характеризуются деревья на объектах 1 и 2.

Тем не менее, просматривается общая закономерность снижения значений асимметрии листа по каждому признаку с удалением от источника загрязнения выбросами автотранспорта окружающей среды.

Выводы.

1. По показателю флуктуирующей асимметрии листьев дерева березы повислой, произрастающие на придорожных территориях города Тюмень, в значительной мере подвержены воздействию выбросов автотранспорта.

2. На показатель флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой большое влияние оказывает расстояние от источника загрязнения. Разница между величинами флуктуирующей асимметрии листовой пластинки деревьев на участке условного фонового влияния загрязнения на расстоянии 170 м от дороги (экопарк Затюменский) и деревьев, произрастающих вблизи автодорог, составляет 0,017 мм, т. е. изменяется на 40%.

3. По значению интегрального показателя стабильности развития среды, определенного по величине флуктуирующей асимметрии листьев, состояние среды, на прилегающей территории улиц Барнаульская и Республики к автодорогам, оценивается как критическое или с признаками существенных (значительных) отклонений от нормы (баллы IV и V состояния). На территории экопарка Затюменский состояние среды характеризуется баллом I и оценивается как стабильное.

4. Наибольшие значения асимметрии листа на всех объектах наблюдаются по признаку 3 (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка), а наименьшие – по признаку 2 (длина второй от основания листа жилки второго порядка).

5. Показатель флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой может быть использован в качестве одного из индикаторов состояния древостоев и состояния окружающей среды города Тюмень.

6. Для контроля состояния среды на территориях, прилегающих к крупным автомагистралям города Тюмень, необходимо проводить мониторинг состояния древесной растительности, выполняющей функции защитных полос с проведением своевременных уходных мероприятий: своевременная вырубка отставших в росте деревьев, с признаками ослабления и повреждений; своевременная посадка деревьев с использованием крупного посадочного материала; создание заслонов и преград на участках с интенсивным движением автотранспорта.

Библиографический список

Бачурина А.В., Залесов С.В. Использование метода биоиндикации для оценки качества среды промышленных городов Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 3. С. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17

Бунькова Н.П., Абраменко В.В. Оценка качества среды в городском лесопарке методом флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Леса России и хозяйство в них. 2020. №1 (72). С. 54–64.

Видякина А.А., Семенова М.В., Боле Н.А. Древесно-кустарниковая флора автомобильных дорог г. Тюмени // Научное обозрение. Биологические науки. 2014. № 1. 40 с.

Данчева А.В., Залесов С.В., Портянко А.В. Биометрические показатели ассимиляционного аппарата в послепожарных сосновых молодняках // Аграрный вестник Урала. 2015. № 11(141). С. 37–41.

Данчева А.В., Панкратов В.К. Оценка эколого-биологической продуктивности сосновых древостоев островных боров Казахстана // Вестник ИрГСХА. 2021. № 4(105). С. 49–63. DOI 10.51215/1999-3765-2021-105-49-63.

Залесов С.В., Белов Л.А., Данчева А.В., Залесова Е.С., Оплетяев А.С., Суюндиков Ж.О. Надземная фитомасса и площадь поверхности ассимиляционного аппарата искусственных березовых древостоев в зеленой зоне города Астаны // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 3(125). С. 55–62.

Клевцова М.А., Михеев А.А. Изменение морфометрических параметров листовых пластинок *Populus italica* (Du Roi) Moench под влиянием эмиссии загрязняющих веществ промышленных предприятий // Региональные геосистемы. 2021. 45 (4). С. 558–575. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575.

Клевцова М.А., Михеев А.А. Сравнительная характеристика экологических условий промышленных городов Центрального Черноземья с использованием методов биоиндикации // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 3. С. 86–96. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2022/3/86-96.

Корнилина В.В. Влияние *Phellinus tremulae* (bond et Borissov) на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластины осины // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-1. С. 37–40.

Коротченко И.С., Алексеева А.Н. Флуктуирующая асимметрия хвои *Pinus sylvestris* L. как биоиндикационный показатель загрязнения природных сред города Красноярск // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета: [электр. науч. журнал]. 2021. № 2(38). С. 27–38. DOI 10.32516/2303-9922.2021.38.3.

Кузнецова А.С., Сотникова Е.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития листовой пластинки *Populus tremula* в условиях воздействия транспортных потоков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. № 3. С. 45–51.

Кулик К.Н., Исаков А.С., Новочадов В.В. Новые возможности анализа листовых пластинок деревьев-биоиндикаторов в оценке состояния окружающей среды в условиях аридной зоны // Известия НВ АУК. 2021. №1 (61). С. 25–36. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-02.

Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утв. Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. URL: <https://base.garant.ru/2159808/> (дата обращения: 10.10.2022).

Осипенко Р.А., Осипенко А.Е. Флуктуирующая асимметрия хвои сосны обыкновенной как индикатор загрязнения окружающей среды горнодобывающим предприятием // Леса России и хозяйство в них. 2018. № 4. С. 30–37.

Папинен А. Е. Оценка качества среды методом флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *Betula pendula* Roth., *Padus avium* mill. и *Crataegus sanduinea* Pall. в пойме реки Каратуз (Красноярский край) // *Juvenis Scientia*. 2019. № 9–10. С. 4–7. DOI 10.32415/jscientia.2019.09-10.01.

Папинен А.Е. Оценка качества среды методом флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *Betula pendula* Roth., *Padus avium* mill. и *Crataegus sanduinea* Pall. в пойме реки Каратуз (Красноярский край) // *Juvenis Scientia*. 2019. № 9–10. С. 4–7. DOI 10.32415/jscientia.2019.09-10.01.

Семчук Н.Н., Перекопский А.Н., Гладких С.Н., Виноградова О.Н., Фомина В.В., Терещенко О.В., Соловьева Д.Д. Мониторинг и оценка состояния экосистемы на основе морфологии листовой пластинки клена (*Acer Platanoides* L.) // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 1(110). С. 42–52. DOI 10.24412/2713-2641-2022-1110-42-52.

Скрипальщикова Л.Н., Днепровский И.А., Стасова В.В., Пляшечник М.А., Грешилова Н.В., Калугина О.В. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярска // *Сибирский лесной журнал*. 2016. № 3. С. 46–56. DOI: 10.15372/SJFS20160305.

Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Показатели стабильности развития *Betula pendula* Roth, участвующей в озеленении г. Иркутска // *Вестник ИрГСХА*. 2020. № 100. С. 100–111. DOI 10.51215/1999-3765-2020-100-100-111.

Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Показатели стабильности развития *Populus balsamifera* L., участвующего в озеленении г. Иркутска. *Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА»*. 2021. 3(104). С. 93–106. DOI: 10.51215/1999 – 3765-2021-104-93-106.

References

Bachurina A.V., Zalesov S.V. Bioindication method application to assess environment quality of industrial cities in the Urals. *Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17. (In Russ.)

Bunkova N.P., Abramenko V.V. Assessment of the quality of the environment in an urban forest park using the fluctuating asymmetry of birch leaves (*Betula pendula* Roth.). *Forests of Russia and the economy in them*, 2020, no. 1 (72), pp. 54–64. (In Russ.)

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Development stability indicators of *Betula pendula* Roth participating in greening of Irkutsk. *East Siberian Journal of Biosciences*, 2020, 100, pp. 100–111. DOI: 10.51215/1999-3765-2020-100-100-111. (In Russ.)

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Indicators of the developmental stability of *Populus balsamifera* L. participating in landscaping of Irkutsk city. *Vestnik IrGSHA: scientific and practical journal*, 2021, no. 3 (104), pp. 93–106. DOI: 10.51215/1999 – 3765-2021-104-93-106. (In Russ.)

Dancheva A.V., Pankratov V.K. Assessment of ecological and biological productivity of pine stands of island forests of Kazakhstan. *Vestnik IrGSHA: scientific and practical journal*, 2021, no. 4(105), pp. 49–63. DOI: 10.51215/1999 – 3765-2021-105-49-63. (In Russ.)

Dancheva A.V., Zalesov S.V., Portyanko A.V. The biometrics parameters of assimilating apparatus in post-fire pine young stands. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2015, no. 11 (141), pp. 37–41. (In Russ.)

Guidelines for assessing the quality of the environment according to the state of living things (assessment of the stability of living organisms according to the level of asymmetry of morphological structures. Approved By the order of the Russian Ecology of October 16, 2003 No. 460-r. URL: <https://base.garant.ru/2159808/> (accessed 10.10.2022). (In Russ.)

Klevtsova M.A., Mikheev A.A. Comparative Characteristics of the Environmental Conditions of Industrial Cities in the Central Black Soil Region Using Bioindication Methods. *Proceedings of VSU, Series: Geography. Geoecology*, 2022, no. 3, pp. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/86-96>. (In Russ.)

Klevtsova M.A., Mikheev A.A. The Change in the Morphometric Parameters of Leaves *Populus italica* (Du Roi) Moench Under the Influence of Emissions of Pollutants of Industrial Enterprises. *Regional geosystems*, 2021, vol. 45, no. 4, pp. 558–575. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-558-575. (In Russ.)

Kornilina V.V. Influence *Phellinus Tremulae* (bond et Borissov) on the fluctuating asymmetry's size of the sheet plate of the Aspen. *Fundamental researches*, 2013, no. 1, vol. 1, pp. 37–40. (In Russ.)

Korotchenko I.S., Alekseeva A.N. Fluctuating asymmetry of needles of *Pinus sylvestris* L. as a bioindication mark of environmental pollution in the city of Krasnoyarsk. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2021, no. 2(38), pp. 27–38. DOI 10.32516/2303-9922.2021.38.3. (In Russ.)

Kulik K.N., Isakov A.S., Novochadov V.V. Leaf blades of bioindicator trees: new possibilities for analysis in the assessment of the environmental state in the conditions of the arid zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.*, 2021, no. 1(61), pp. 25–36. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-02. (In Russ.)

Kuznetsova A.S., Sotnikova E.V. Bioindicative indicators of stability of Populus Tremula leaf blades under the impact of traffic flow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2016, no. 3, pp. 45–51. (In Russ.)

Osipenko R.A., Osipenko A.E. Common pine needles fluctuating asymmetry as indicator of environment pollution by mining enterprises. *Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh*, 2018, no. 4, pp. 30–37. (In Russ.)

Papinen A.E. Assessment of medium quality by fluctuating asymmetry of Betula Pendula Roth., Padus Avium Mill. and Crataegus Sanguinea Pall. in the floodplain of the Karatuz river (Krasnoyarsk region). *Juvenis Scientia*, 2019, no. 9-10, pp. 4-7. DOI 10.32415/jscientia.2019.09-10.01.8. (In Russ.)

Papinen A.E. Assessment of medium quality by fluctuating asymmetry of Betula Pendula Roth., Padus Avium Mill. and Crataegus Sanguinea Pall. in the floodplain of the Karatuz river (Krasnoyarsk region). *Juvenis Scientia*, 2019, no 9-10, pp. 4–7. DOI 10.32415/jscientia.2019.09-10.01. (In Russ.)

Semchuk N.N., Perekopsky A.N., Gladkikh S.N., Vinogradova O.N., Fomina V.V., Tereshchenko O.V., Solovyova D.D. Ecourbanization is a promising direction of sustainable development. *AgroEkoInzheneriya*, 2022, no. 1 (110), pp. 42-52. DOI 10.24412/2713-2641-2022-1110-42-52. (In Russ.)

Skipal'shchikova L.N., Dneprovskii I.A., Stasova V.V., Plyashechnik M.A., Greshilova N.V., Kalugina O.V. Morphological and anatomical characteristics of Scots pine needles under industrial pollution impact of Krasnoyarsk City. *Siberian Journal of Forest Science*, 2016, no. 3, pp. 46–56. DOI: 10.15372/SJFS20160305. (In Russ.)

Vidyakina A.A., Semenova M.V., Bome N.A. Woody and shrub floor highways in Tyumen. *Scientific Review. Biological Sciences*, 2014, no. 1. 40 p. (In Russ.)

Zalesov S.V., Belov L.A., Dancheva A.V., Zalesov E.S., Opletaev A.S., Suyundikov Zh.O. Aboveground phytomass and surface area of the artificial birch tree stands in the green zone of Astana city. *Vestnik of the Altai state agrarian University*, 2015, no. 3 (125), pp. 55–62.

Материал поступил в редакцию 20.10.2022

Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Оценка состояния среды придорожных территорий города Тюмень на основе использования методов биоиндикации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 240. С. 47–63. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.47-63

Проведена оценка качества окружающей среды на придорожных территориях в городе Тюмень методом биоиндикации на основе использования флуктуирующей асимметрии листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.). По значению интегрального показателя стабильности развития среды,

определенного по величине флуктуирующей асимметрии листа, состояние среды на прилегающей к автодорогам территории улиц Барнаульская и Республики, оценивается как критическое или с признаками существенных (значительных) отклонений от нормы (баллы IV и V состояния). На территории экопарка Затюменский состояние среды характеризуется баллом I и оценивается как стабильное. На показатель флуктуирующей асимметрии листа березы повислой большое влияние оказывает расстояние от источника загрязнения. По мере удаления от автомобильной дороги отмечаются меньшие различия в асимметрии листа березы повислой и большая стабильность состояния среды. Различия в значениях величины флуктуирующей асимметрии листа деревьев на участке условного фонового влияния загрязнения (экопарк Затюменский) и деревьев, произрастающих вблизи автодорог, достигают 40%. В зоне стабильного развития на расстоянии 170 м от источника загрязнения выбросами автотранспорта (экопарк Затюменский) средние значения асимметрии листа по каждому признаку на 20–45% меньше, в сравнении с зонами существенных (значительных) отклонений от нормы и критического состояния среды (городские участки на расстоянии 3–6 м от автодороги с интенсивным движением автотранспорта). Предварительные результаты показали, что флуктуирующая асимметрия листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.) может быть использована в качестве индикатора загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта.

Ключевые слова: состояние городской среды, выбросы автотранспорта, биоиндикация, берёза повислая (*Betula pendula* Roth.), флуктуирующая асимметрия листа.

Dancheva A.V., Zalesov S.V., Nazarova V.V. Assessment of roadside areas environment condition of the city of Tyumen of bioindication methods. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2022, iss. 240, pp. 47–63 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.47-63

Has been made to assess the environment quality near on roadside areas in the city of Tyumen by on the base of bioindication method on the method of fluctuating asymmetry of hanging birch (*Betula pendula* Roth.) leaves blades. The stability of the developments indicator of the environment on the Barnaul and Republic streets territory of is assessed as critical or with signs of significant or significant deviations from the norm (IV and V state score). The state of the environment of the lecopark «Zatyumensky» territory by I score and is assessed as stable characterized. The fluctuating asymmetry of the birch leaves is greatly influenced by the distance from the pollutions source. It is found that the increase in the distance from the highway leads to a decrease in the difference in the birch leaves asymmetry and increase environment stabilities. The values of the leaves fluctuating asymmetry in the area of the background influence of environmental pollution (lecopark

«Zatyumensky») and trees growing near highways differentiate by 40%. In the environmental stable development zone at a distance of 170 m from the pollutions source by vehicle emissions (Iecopark «Zatyumensky»), the average values of leaves asymmetry are 20-45% less than in critical situations zone environmental condition. The high efficiency of using fluctuating asymmetries of leaves method of bioindification of the environment city Tyumen as a result of research has been confirmed.

Keywords: urban areas, vehicle emissions, bioindication, *Betula pendula* Roth., fluctuating asymmetry of leaves.

ДАНЧЕВА Анастасия Васильевна – Государственный аграрный университет Северного Зауралья, доктор сельскохозяйственных наук. Researcher ID: AAG-7263-2019, ORCID: 0000-0002-5230-7288.

425003, ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Россия. E-mail: a.dancheva@mail.ru

DANCHEVA Anastasiya V. – DSc (Agriculture), Chair professor of the Department of forestry, woodworking and applied mechanics, Northern Trans-Urals State Agricultural University.

625003. Republiki str. 7. Tyumen. Tyumen Region. Russia. E-mail: a.dancheva@mail.ru

ЗАЛЕСОВ Сергей Вениаминович – профессор Уральского государственного лесотехнического университета, доктор сельскохозяйственных наук. Researcher ID: H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410x

620110, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: zalesov@usfeu.ru

ZALESOV Sergey V. – DSc (Agriculture), Head of the Department of Forestry

620100. Sibirsky tract str. 37. Ekaterinburg. Russia. E-mail: zalesov@usfeu.ru

НАЗАРОВА Валентина Владимировна – студентка Государственного аграрного университета Северного Зауралья.

425003, ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Россия.

NAZAROVA Valentina V. – student, Northern Trans-Ural State Forest Engineering University.

625003. Republiki str. 7. Tyumen. Tyumen Region. Russia.