

**Исследование загрязнения воздуха в микрорайоне школы по флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой (*Betula pendula*).**

Авторы: Литвинов Роман Валерьевич,

Попов Станислав Геннадьевич, 10 класс

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
средняя общеобразовательная школа № 79

Калининского района г. Санкт-Петербурга

Россия

Руководитель: Коростелёва Юлия Викторовна  
учитель биологии, педагог ОДОД

## СОДЕРЖАНИЕ.

	Стр.
Введение	3
1. Основные принципы биоиндикации	4
1.1. Биоиндикация на основе анализа уровня флуктуирующей асимметрии	5
1.2. Влияние биотических и абиотических факторов на показатели флуктуирующей асимметрии	5
2. Биологическая характеристика берёзы повислой	7
3. Краткое описание района исследования	8
4. Сущность метода	9
5. Результаты и обсуждение	12
6. Возможные пути снижения выбросов вредных веществ от автотранспорта в атмосферу Санкт – Петербурга	15
Выводы	16
Литература	17
Приложения	

## ВВЕДЕНИЕ.

Городская среда становится малопривлекательной для здоровой жизни человека. Известно, что продолжительность жизни горожан сократилась на 10%. В городах резко возросли отрицательные факторы урбанизации - шум, вибрация, малая подвижность населения, ускоренный ритм жизни, загрязнение атмосферного воздуха.

В черте города полоса зелёных насаждений снижает концентрацию выхлопных газов автотранспорта до 15% в единице объёма воздуха. Например, тополь, ясень, ива белая, берёза - поглотители сернистого газа. Каштан конский, липа сердцевидная, тополь чёрный - поглощают свинец, оксиды азота - клён американский, сосна, яблоня обыкновенная [1].

В последние десятилетия экологами все чаще применяется эффективный способ мониторинга состояния воздушной среды - биоиндикация. Наиболее чувствительными к загрязнению окружающей среды органами древесных растений являются листья, на которых оседает пыль, а под влиянием различных загрязнителей атмосферы в листьях происходят морфологические изменения (появление асимметрии, уменьшение площади листовой пластины, изменение количества устьиц).

Берёза является одним из лучших видов деревьев с высокими газопоглощающими и пылезадерживающими свойствами. Согласно литературным данным, берёза повислая или бородавчатая обладает средней чувствительностью к загрязнению воздуха [2].

**Цель** нашей работы: биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха в микрорайоне школы по асимметрии листовой пластинки берёзы повислой.

### **Задачи:**

1. Собрать листья берёз на участках с различной степенью загрязнения воздуха, вычислить показатель асимметричности для каждого участка.
2. Оценить степень асимметрии листовых пластинок берёзы повислой на участках с различной степенью загрязнения воздуха.
3. Сравнить показатели асимметричности за 2020 г. и 2021 г.
4. Предложить меры по улучшению экологической ситуации в микрорайоне школы.

**Объект исследования:** посадки берёзы повислой на территории микрорайона школы.

**Предмет исследования:** листья берёзы повислой, собранные с различных участков.

**Гипотеза:** загрязнение воздуха выхлопными газами приводит к асимметрии листовых пластинок берёзы повислой. **Методы исследования:** изучение литературы по теме исследования, проведение измерений параметров листовых пластинок берёзы повислой, вычисление показателя асимметричности, сравнение полученных данных.

## 1. ОСОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БИОИНДИКАЦИИ.

Биоиндикация - метод, который позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту наличия, отсутствия, особенностям развития организмов-биоиндикаторов.

Биоиндикаторы - организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания.

Методы биоиндикации должны отвечать следующим требованиям: относительная быстрота проведения индикации, получение достаточно точных и воспроизводимых результатов, наличие пригодных для индикации объектов в большом количестве. Несомненными достоинствами этих методов служат простота измерений и доступность широкому кругу наблюдателей. Существенными недостатками являются высокая трудоёмкость и большие временные затраты.

Растения - чувствительный объект, позволяющий оценивать весь комплекс воздействий, характерный для данной территории в целом, поскольку они ассимилируют вещества и подвержены прямому воздействию одновременно и двух сред: из почвы и из воздуха. В связи с тем, что растения ведут прикрепленный образ жизни, состояние их организма отражает состояние конкретного локального места обитания. Удобства использования растений состоит в доступности и простоте сборов материала для исследования. Наиболее чувствительным органом древесных растений является зелёный лист. В качестве биоиндикаторов в городе могут быть листья деревьев с хорошими поглощательными качествами - деревья «санитары»: липа мелколистная, клён, тополь, берёза [2]. Газопоглощательная способность некоторых растений, используемых для озеленения нашего микрорайона, приведена в табл. 1.

*Таблица 1. Газопоглощательная способность растений  
(в г. на 5- кг сырой зеленой массы) [5].*

<b>Растения</b>	<b>S<sub>0</sub>2</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
Тополь канадский	30	23	13
Берёза бородавчатая	25	25	5
Липа мелколистная	28	20	3
Клён ясенелистный	13	8	2
Газонные травы	105	65	60
Кустарники	75	60	50

Одним из перспективных подходов для биоиндикации качества среды является оценка состояния живых организмов по стабильности развития (гомеостазу развития). Снижение эффективности данных механизмов приводит к появлению незначительных, ненаправленных отклонений от нормального строения различных морфологических признаков, обусловленных нарушениями развития. Оценить такие изменения можно на основании анализа уровня флуктуирующей асимметрии (ФА).

### **1.1. Биоиндикация на основе анализа уровня флуктуирующей асимметрии.**

Ввиду различных причин (эволюционные приспособления, особенности развития) в строении живых тел возникают различные отклонения от строгой билатеральной симметрии, называемые асимметрией. Флуктуирующая асимметрия – это незначительные, ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии.

Во время формирования листовой пластины, вследствие накопления в ней токсических веществ, происходит торможение ростовых процессов и деформация листа. Известно, что показатели асимметрии отражают не только качество среды, но и общее состояние данного растительного организма; их возрастание наблюдается при действии факторов, повышающих уровень нарушения стабильности развития [3].

### **1.2. Влияние биотических и абиотических факторов на показатели флуктуирующей асимметрии.**

Природные территории могут существенно различаться по показателям нарушения стабильности развития организмов вследствие воздействия биотических и абиотических факторов. У растений показатель ФА может варьировать в значительно более широких пределах, что объясняется, прежде всего, особенностями прикрепленного образа жизни и зависимостью от влажности и освещенности. Так, повышение уровня асимметрии может наблюдаться в условиях усиления межвидовой и внутривидовой конкуренции, например на сильно затененных более высокими деревьями участках, в лесных стациях с высокой густотой древостоя. Если к абиотическому фактору прибавится антропогенный, то наблюдается более высокий показатель ФА. В то же время, даже в биотопах, подверженных косвенному техногенному воздействию, показатели ФА у берёзы могут быть сравнимы с показателями растений из природных биотопов, при условии хорошей освещенности и ненарушенности почвенного покрова. Зато в природных биотопах повышенный показатель асимметрии может быть отмечен у деревьев, произрастающих на обедненных почвах. Такую же существенную роль в

повышении асимметрии могут сыграть и межвидовые взаимодействия (смешанный хвойно-лиственный лес), что можно объяснить угнетённостью берёз другими видами.

Также значение величины ФА зависит от обилия насекомых вредителей. Оказалось, что берёзы, сильно поражённые насекомыми вредителями, характеризуются повышенными уровнями асимметрии. Наряду с негативными воздействиями у городских насаждений существует ряд положительных моментов - отсутствие межвидовой конкуренции, меньшая плотность насаждений, защита от объедания животными. В результате в ряде случаев на территории населённых пунктов показатель ФА листа берёзы может быть даже ниже, чем в природе.

Из изложенного выше следует, что на показатель ФА влияют не только антропогенные факторы, но абиотические и биотические факторы среды. Поэтому в некоторых случаях показатель ФА в антропогенном биотопе может быть такой же, как и в природном [4].

## 2. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕРЁЗЫ ПОВИСЛОЙ.

Берёза бородавчатая или повислая (*Betula pendula*)- дерево высотой 10-20 м с белой корой. У старых деревьев основание ствола чёрно-серого цвета, с глубокими трещинами. Ветви повислые, молодые - красно-бурые, густо усажены смолистыми бородавочками. Почки заострённые. Листья очерёдные, черешковые, треугольно-ромбические (рис. 1). Цветки собраны в повислые серёжки. Плод - крылатка, с двумя перепончатыми крыльями. Цветёт в мае до распускания листьев, плоды созревают в августе-сентябре.

Берёза повислая имеет обширный евро-сибирский ареал от Западной Европы до Байкала, изолированные местонахождения отмечены и восточней. Наиболее обильна в Западной и Средней Сибири, а также в средней полосе европейской части России. В горы поднимается до высоты 2100-2500 м.

У северной границы лесной зоны берёзу повислую вытесняет берёза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) — вид близкой экологии, однако более приспособленный к низким температурам и заболоченным почвам Севера. Она отличается от берёзы повислой по следующим признакам: стебли молодых побегов без бородавочек, опушённые. Листья снизу опушённые, в основании округло-усечённые или сердцевидные (рис. 1) [5].

По данным некоторых авторов эти два вида способны скрещиваться между собой, образуя межвидовые гибриды, которые обладают признаками обоих видов. Для биоиндикации следует выбирать деревья с чётко определяющимися признаками одного вида, избегая сомнительные экземпляры.



Рис. 1. Различия по форме листовой пластинки двух видов берёз.

### **3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Микрорайон нашей школы ограничен крупными магистралями с высокой интенсивностью движения транспорта – пр. Просвещения и Светлановским пр.- и улицами Учительской и Брянцева, на которых транспорта гораздо меньше. На ул. Брянцева преобладают легковые автомобили, изредка проезжают грузовые машины, нет общественного транспорта. На ул. Учительской движение более интенсивное: автобусы, маршрутные такси, личный и грузовой транспорт. Количество автотранспорта на обеих улицах значительно увеличилось за последние 5 лет в связи с уплотнительной застройкой микрорайона.

Существующие границы микрорайона сформировались в 1970 г., когда активно застраивались территории севернее Муринского ручья. Вдоль автотрасс были высажены деревья (вязы, берёзы, дубы, клёны, тополя) и кустарники (боярышник, спирея, сирень). Проводилось озеленение внутриквартальных территорий (те же растения, и ещё каштаны, липы, ясени, клёны ясенелистные, лиственницы, сосны, жостер, карагана и др.). В результате площадь зелёных насаждений в нашем микрорайоне довольно значительная, за исключением пр. Просвещения, вдоль которого преобладают газоны. С 2017 г. началась интенсивная вырубка вязов, поражённых голландской болезнью. Вместо них вдоль Светлановского пр. и Учительской ул. высаживают клёны и липы.



#### 4. СУЩНОСТЬ МЕТОДА.

В основу методики, используемой при выполнении исследовательской работы, положена теория «стабильности развития» (морфогенетический гомеостаз), разработанная российским учёным А.В. Яблоковым. Главными показателями изменения гомеостаза морфогенетических процессов являются показатели флуктуирующей асимметрии. При нормальных условиях их уровень минимален. Возрастание этих показателей при любом стрессирующем воздействии приводит к увеличению асимметрии. Оценка ФА билатеральных организмов используется при определении общего уровня антропогенного воздействия.

В качестве объекта исследования выбрана берёза повислая (*Betula pendula*), синоним: берёза бородавчатая (*Betula verrucosa*).

Мы выбрали это растение не случайно. Во-первых, оно широко распространено и доступно для сбора необходимого материала (листьев).

Во-вторых, именно для данного растения разработана пятибалльная шкала оценки стабильности развития авторами используемой нами методики [6].

Сбор материала (листьев) производился в сентябре 2020 г. и 2021 г. Для исследования в микрорайоне школы были выбраны участки с различной степенью загрязнения воздуха автотранспортом: № 1 около здания школы, № 2 участок ул. Брянцева, д. 2, № 3 угол Светлановского пр. и Учительской ул., № 4 угол пр. Просвещения и Светлановского, № 5 угол пр. Просвещения и ул. Брянцева (рис. 2).

С каждого участка было собрано по 30 листьев (по 10 листьев с 3 деревьев). Листья собирались с нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток (ветки разных направлений, условно - на север, юг, запад, восток). Мы выбирали берёзы, растущие в сходных экологических условиях (на открытых, хорошо освещённых участках).

Видовую принадлежность деревьев мы определяли с помощью Атласа дикорастущих растений Ленинградской области [7]. Приблизительный возраст берёз 50 лет, что соответствует времени застройки микрорайона.

С каждого листа были сняты показатели по 5-ти параметрам (рис. 3) с левой и правой стороны листа:

1. ширина половинки листа;
2. длина второй жилки второго порядка от основания листа;
3. расстояние между основаниями первой и второй жилок 2-го порядка;

4. расстояние между концами этих жилок;
5. угол между главной жилкой и второй от основания жилкой 2-го порядка.

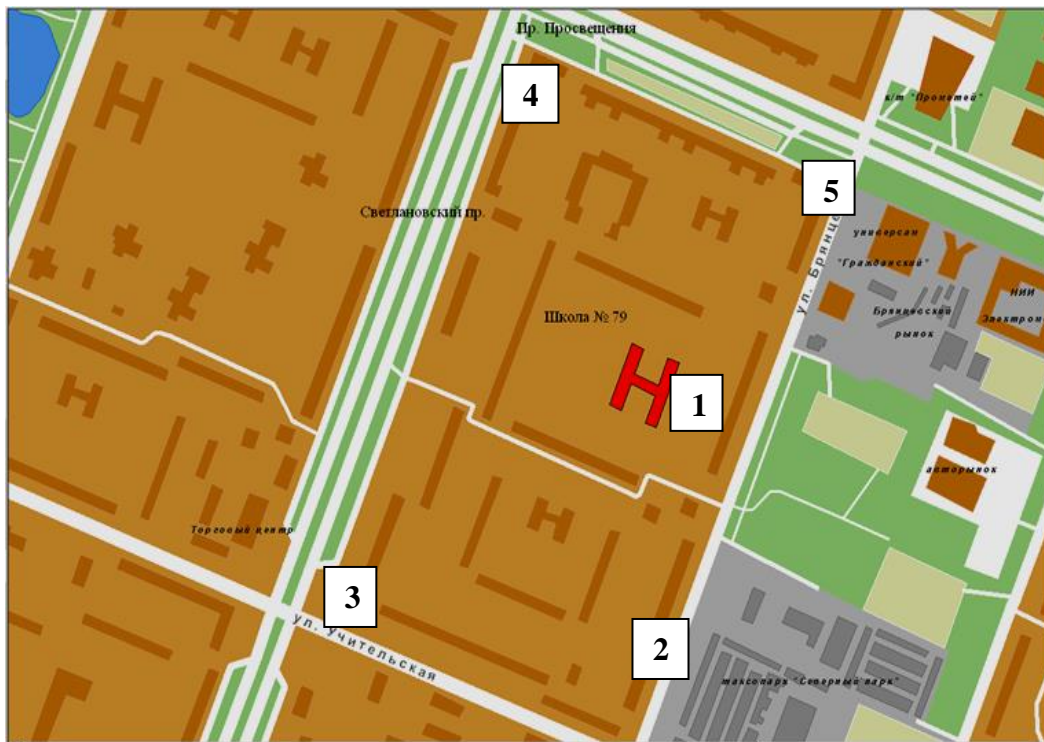


Рис. 2. Расположение исследуемых участков в микрорайоне школы.

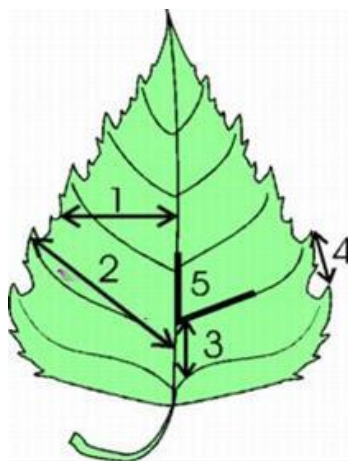


Рис. 3. Параметры листа.

Величина асимметричности оценивалась с помощью интегрального показателя (X) - величины среднего относительного различия на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков).

Сначала находили относительное различие между значениями признака слева и справа - (Y) для каждого признака по формуле 1:

$$Y = \frac{X_{л} - X_{п}}{X_{л} + X_{п}} \quad (1)$$

где  $X_{л}$  и  $X_{п}$  - значения одного промера с левой и правой стороны листа соответственно (в числителе – модуль разности значений). В результате получается 5 значений Y для одного листа. Такие же вычисления производили для каждого листа в отдельности, записывая результаты в таблицу.

Затем вычисляли значение среднего относительного различия между сторонами на признак для каждого листа (Z) по формуле 2:

$$Z1 = \frac{Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + Y5}{N} \quad (2)$$

где N – число признаков.

Показатель, характеризующий степень асимметричности, вычисляли по формуле 3:

$$X = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + \dots + Z10}{n} \quad (3)$$

где n – число значений Z, т.е. количество листьев.

По 5-ти бальной шкале отклонения от нормы, разработанной Захаровым В.М. и Крысановым Е.Ю. [1996] (табл. 1), в которой 1 балл – условная норма, а 5 баллов – критическое состояние, можно определить степень загрязнения приземных слоев атмосферы в летний период на каждом участке.

*Таблица 1. Шкала отклонения от нормы (Захаров В.М., Крысанов Е.Ю).*

<b>Балл</b>	<b>Значение показателя асимметричности</b>	<b>Экологическое состояние</b>
1 балл	до 0,055	Ситуация условно нормальная
2 балла	0,055-0,060	Небольшие отклонения от нормального состояния
3 балла	0,060-0,065	Существенные нарушения
4 балла	0,065-0,070	Опасные нарушения
5 баллов	Более 0,070	Критическое состояние

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Согласно исследованиям учащихся нашей школы (2008-2019 гг), наиболее загрязнён воздух на Светлановском пр. и пр. Просвещения (высокая интенсивность движения автотранспорта), на ул. Брянцева и Учительской ул. - загрязнение меньше (средняя интенсивность движения). Самым чистым можно считать воздух внутриквартальной территории микрорайона школы в связи с удалённостью от автомагистралей и наличием большого количества зелёных насаждений.

Образцы рабочих таблиц с результатами измерений листьев берёз с участков по 5-ти параметрам и расчёты величин  $Y$ ,  $Z$ ,  $X$  приведены в Приложениях 1 и 2.

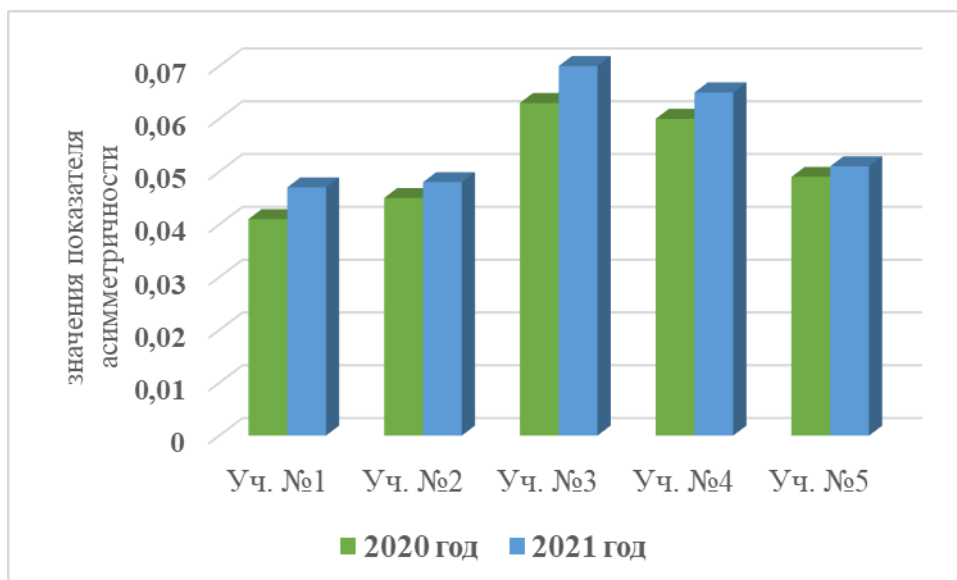
Значения  $X$  для каждого дерева и средние показатели асимметричности ( $X_{cp}$ ) для каждого участка приведены в табл. 2 и на рис. 4.

*Таблица 2. Значения показателя асимметричности листьев берёзы повислой.*

№ дерева	Участок №1		Участок №2		Участок №3		Участок №4		Участок №5	
	2020г	2021г	2020г	2021г	2020г	2021г	2020г	2021г	2020 г	2021 г
1	0,042	0,045	0,048	0,054	0,053	0,060	0,059	0,063	0,042	0,046
2	0,037	0,043	0,047	0,048	0,071	0,076	0,064	0,070	0,056	0,058
3	0,044	0,052	0,039	0,043	0,064	0,073	0,056	0,061	0,048	0,050
<b><math>X_{cp}</math></b>	<b>0,041</b>	<b>0,047</b>	<b>0,045</b>	<b>0,048</b>	<b>0,063</b>	<b>0,070</b>	<b>0,060</b>	<b>0,065</b>	<b>0,049</b>	<b>0,051</b>

По диаграмме видно, что максимальные значения показателя асимметричности получены на уч. №3 (угол Светлановского пр. и Учительской ул.), что указывает на довольно сильное загрязнение воздуха. На уч. №4 (угол пр. Просвещения и Светлановского пр.) – значения несколько ниже. Минимальные значения  $X_{cp}$  – на уч. №1 (территория школы), который находится на значительном удалении от крупных автомагистралей. Немного выше показатели асимметричности на уч. №2 (ул. Брянцева) и уч. №5 (угол пр. Просвещения и ул. Брянцева).

Значения  $X_{cp}$  для всех участков в 2021 г. выше, чем в 2020 г.



*Рис. 4. Диаграмма средних значений показателя асимметричности на исследуемых участках.*

В табл. 3 приведена оценка качества воздушной среды на исследуемых участках. Из данных таблицы следует, что ситуация условно нормальная на участках № 1, 2, 5 (2020 г: значения  $X=0,041-0,049$ ; 2021 г  $X=0,047-0,051$ ), на участке № 4 – существенные нарушения среды (0,060 и 0,065), на участке № 3 – существенные и опасные нарушения (0,063 и 0,070). Уч. № 1 находится на территории школы, поэтому загрязнение воздуха там ниже, чем рядом с автомагистралями.

Следовало ожидать, что самое сильное загрязнение воздуха будет на уч. № 4 и 5, т.к. на пр. Просвещения наиболее высокая интенсивность движения автотранспорта. Однако, согласно полученным данным, воздух на углу Учительской ул. и Светлановского пр. (уч. № 3) загрязнён гораздо больше. Это связано с тем, что пр. Просвещения расположен по направлению преобладающих ветров, а уч. № 3 плохо продувается ветрами, поэтому и воздух там загрязнён сильнее.

Сравнение полученных значений  $X_{cp}$  с данными исследования от 2013 года (№1,2,5 0,040-0,050, №4-0,058, №3-0,062) позволяет сделать вывод, что степень загрязнения воздуха увеличилась на уч. № 3 и 4 в связи с увеличением потока автотранспорта на ул. Брянцева и Учительской ул. (результат уплотнительной застройки микрорайона). Более высокие значения  $X_{cp}$  в 2021 г по сравнению с 2020 г, вероятно, связаны с аномально сухим и жарким летом, что могло повлиять на асимметрию листьев берёзы и загрязнение воздуха. Это ещё предстоит изучить, продолжив исследования по асимметрии листьев берёз.

Таблица 3. Качество воздушной среды на исследуемых участках.

Исследуемый участок	Год исследования	Значения $X_{cp}$	Стабильность развития (баллы)	Качество среды
Территория школы (уч. №1)	2020	0,041	1	Ситуация условно нормальная
	2021	0,047		
Ул. Брянцева, 2 (уч. №2)	2020	0,045	1	Ситуация условно нормальная
	2021	0,048		
Угол Светлановского пр. и Учительской ул. (уч. №3)	2020	0,063	3	Существенные нарушения
	2021	0,070	4	Опасные нарушения
Угол проспектов Светлановского и Просвещения (уч. №4)	2020	0,060	3	Существенные нарушения
	2021	0,065		
Угол пр. Просвещения и ул. Брянцева (уч. №5)	2020	0,049	1	Ситуация условно нормальная
	2021	0,051		

## **6. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА В АТМОСФЕРУ САНКТ - ПЕТЕРБУРГА.**

Уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу города от автотранспорта можно путём замены двигателей внутреннего сгорания на электрические, т.е. введением в эксплуатацию электромобилей.

Основное преимущество электромобиля – отсутствие вредных выхлопов. Однако экологичность электромобиля не является абсолютной - выработка электроэнергии требует сжигания топлива на электростанциях; проблемой является также производство и утилизация аккумуляторов, которые часто содержат ядовитые компоненты (например, свинец) [8].

Другой выход - улучшение характеристик применяемых на транспорте видов топлива. Главная направленность подобных модернизаций состоит в уменьшении выбросов благодаря топливу с улучшенными экологическими характеристиками («очищенное топливо»). Под термином «очищенное топливо» имеется в виду в основном отсутствие в нем соединений серы и других вредных примесей, которые в процессе сгорания превращаются в токсичные соединения, такие как оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа и другие твёрдые частицы. Соединения серы не только загрязняют окружающую среду, но и препятствуют нормальной работе нейтрализаторов и сажевых фильтров. В некоторых случаях сульфатный компонент может достигать до половины твёрдых выхлопов. Поэтому уменьшение содержания серы в топливе позволяет значительно улучшить эффективность работы нейтрализаторов и снизить выбросы CO и NO<sub>x</sub>.

Применение газообразного моторного топлива и переход на комбинированные энергетические установки представляют собой следующий шаг в повышении экологической чистоты автомобилей. Альтернативные виды топлива: биоэтанол, биогаз, диметиловый эфир и другие [9].

## ВЫВОДЫ.

1. Максимальные значения показателя асимметричности получены на уч. №3: угол Светлановского пр. и Учительской ул. (2020г-0,063 и 2021г-0,070); минимальные - на уч. №1: территория школы (0,041 и 0,047).
2. Ситуация условно нормальная на участках № 1, 2, 5 (стабильность развития 1 балл), на участке № 4 – существенные нарушения среды (3 балла), на участке № 3 – существенные и опасные нарушения (3-4 балла).
3. Более высокие значения  $X_{\text{ср}}$  в 2021 г по сравнению с 2020 г, вероятно, связаны с аномально сухим и жарким летом, что могло повлиять на асимметрию листьев берёзы и загрязнение воздуха.
4. Сравнение полученных значений  $X_{\text{ср}}$  с данными исследования от 2013 года (№1,2,5 0,040-0,050, №4-0,058, №3-0,062) позволяет сделать вывод, что степень загрязнения воздуха увеличилась на уч. № 3 и 4 в связи с увеличением потока автотранспорта на ул. Брянцева и Учительской ул. (результат уплотнительной застройки микрорайона).
5. Уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу города от автотранспорта можно путём перехода на «очищенное топливо», альтернативное топливо и электромобили.



## ЛИТЕРАТУРА.

1. Голубев Д.А., Сорокин Н.Д. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт – Петербурге в 2011 году», СПб, «Сезам», 2012 г.
2. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. «Экология 10-11 класс», М., «Дрофа», 2003.
3. Константинов Е.Л. «Анализ уровня стабильности развития берёзы бородавчатой, как метод биоиндикации качества среды», Сб. тр. молодых учёных Саратов, 1997.
4. Солдатова В.Ю. «Флуктуирующая асимметрия берёзы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества городской среды и территорий, подверженных антропогенному воздействию».
5. Энциклопедия «Жизнь растений» в 6 томах под ред. Тахтаджяна А.Л., М. «Просвещение», 1980, т. 5 (1), с. 318-321
6. Шестакова Г.А, Стрельцов А.Б., Константинов Е.Л. «Методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития берёзы повислой», Материалы по дополнительному экологическому образованию учащихся (сборник статей), вып.1 под ред. Королёва В.В. и Поляковой Э.А., Калуга: КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2004, с. 187-195.
7. Атлас дикорастущих растений Ленинградской области, ред. Баранова Е.В., Ефимов П.Г., «Товарищество научных изданий КМК», М., 2010, с.10-11.
8. [www.science-award.siemens.ru/.../electromobile/](http://www.science-award.siemens.ru/.../electromobile/) -
9. [www.ng.ru/.../15\\_atmosphere.html](http://www.ng.ru/.../15_atmosphere.html)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образцы рабочих таблиц для уч. № 3 (2020 г).

*Таблица 1. Результаты измерений листовых пластинок*

*по пяти параметрам (дерево № 1).*

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	22	23	32	35	9	11	11	9	40	35
2	24	23	35	36	13	13	10	12	35	30
3	24	24	34	32	14	12	10	10	35	35
4	28	25	40	36	14	15	10	12	40	35
5	21	21	29	28	9	8	9	10	40	45
6	30	29	39	38	8	9	13	12	55	50
7	27	28	36	36	9	8	9	9	45	40
8	22	24	31	37	8	9	10	11	50	50
9	23	20	32	30	10	8	8	9	45	35
10	25	27	38	43	8	12	12	15	40	35

*Таблица 2. Результаты вычислений (дерево № 1).*

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,02	0,04	0,10	0,10	0,07	0,07
2	0,02	0,01	0,00	0,09	0,08	0,04
3	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,02
4	0,06	0,05	0,03	0,09	0,07	0,06
5	0,00	0,02	0,06	0,05	0,06	0,04
6	0,02	0,01	0,06	0,04	0,05	0,04
7	0,02	0,00	0,06	0,00	0,06	0,03
8	0,04	0,09	0,06	0,05	0,00	0,05
9	0,07	0,03	0,11	0,06	0,13	0,08
10	0,04	0,06	0,20	0,11	0,07	0,10

**X=0,053**

Таблица 3. Результаты измерений листовых пластинок

по пяти параметрам (дерево № 2).

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	20	21	25	33	5	9	4	12	40	35
2	22	21	35	35	6	7	6	9	40	40
3	22	35	42	44	9	10	10	10	40	40
4	27	30	47	46	9	9	10	12	35	35
5	20	19	33	33	10	10	7	8	40	35
6	31	31	49	46	11	9	13	11	45	40
7	25	15	38	29	8	10	8	10	40	35
8	24	23	37	38	7	8	8	8	40	40
9	26	22	41	38	8	11	10	12	40	35
10	22	25	36	35	8	6	9	10	40	40

Таблица 4. Результаты вычислений (дерево № 2).

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,02	0,14	0,29	0,50	0,07	0,20
2	0,02	0,00	0,08	0,20	0,00	0,06
3	0,23	0,02	0,05	0,00	0,00	0,06
4	0,05	0,01	0,00	0,09	0,00	0,03
5	0,03	0,00	0,00	0,07	0,07	0,03
6	0,00	0,03	0,10	0,08	0,06	0,05
7	0,25	0,13	0,11	0,11	0,07	0,13
8	0,02	0,01	0,07	0,00	0,00	0,02
9	0,08	0,04	0,16	0,09	0,07	0,09
10	0,06	0,01	0,14	0,05	0,00	0,05

X=0,071

Таблица 5. Результаты измерений листовых пластинок

по пяти параметрам (дерево № 3).

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	27	26	46	46	14	10	11	10	35	35
2	27	30	44	42	8	8	9	12	30	40
3	28	28	48	49	12	11	11	11	35	35
4	22	22	33	33	9	9	7	9	35	35
5	22	26	36	43	10	11	8	10	30	40
6	15	18	25	25	7	9	7	8	30	40
7	25	26	43	45	11	11	11	10	35	40
8	26	24	39	39	11	18	10	14	35	30
9	27	22	49	45	12	11	15	10	30	30
10	22	20	42	35	9	7	9	6	40	40

Таблица 6. Результаты вычислений (дерево № 3).

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,02	0,00	0,17	0,05	0,00	0,05
2	0,05	0,02	0,00	0,14	0,14	0,07
3	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01
4	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,03
5	0,08	0,09	0,05	0,11	0,14	0,09
6	0,09	0,00	0,13	0,07	0,14	0,09
7	0,02	0,02	0,00	0,05	0,07	0,03
8	0,04	0,00	0,24	0,17	0,08	0,10
9	0,10	0,04	0,04	0,20	0,00	0,08
10	0,05	0,09	0,13	0,20	0,00	0,09

X=0,064

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образцы рабочих таблиц для уч. № 5 (2021 г).

*Таблица 1. Результаты измерений листовых пластинок*

*по пяти параметрам (дерево № 1).*

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
1	29	27	35	34	14	12	12	9	50	40
2	20	21	27	30	9	10	8	9	35	40
3	23	24	35	40	12	8	9	9	30	30
4	19	17	25	24	10	10	8	9	40	40
5	24	23	26	30	11	10	10	7	45	40
6	22	25	28	30	9	9	10	10	40	45
7	23	22	29	30	10	9	10	10	45	40
8	23	20	25	23	9	9	9	10	50	40
9	30	34	42	42	12	12	11	11	45	40
10	28	30	37	35	10	9	14	13	50	50

*Таблица 2. Результаты вычислений (дерево № 1).*

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,04	0,01	0,08	0,14	0,11	0,08
2	0,02	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05
3	0,02	0,07	0,20	0,00	0,00	0,06
4	0,06	0,02	0,00	0,06	0,00	0,03
5	0,02	0,07	0,05	0,18	0,06	0,08
6	0,06	0,03	0,00	0,00	0,06	0,03
7	0,02	0,02	0,05	0,00	0,06	0,03
8	0,07	0,04	0,00	0,05	0,11	0,06
9	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02
10	0,03	0,03	0,05	0,04	0,00	0,03

**X=0,046**

Таблица 3. Результаты измерений листовых пластинок

по пяти параметрам (дерево № 2).

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	15	17	30	32	12	12	6	6	30	30
2	12	12	24	24	10	8	4	5	30	30
3	15	15	32	31	12	10	7	8	30	25
4	18	20	35	40	13	11	8	7	25	30
5	16	16	32	32	14	10	9	8	25	30
6	15	12	31	30	10	9	12	11	30	25
7	12	14	30	30	12	13	6	7	30	30
8	17	18	33	31	10	7	6	7	35	30
9	30	29	50	50	12	11	14	9	40	40
10	23	23	27	29	9	11	7	8	45	40

Таблица 4. Результаты вычислений (дерево № 2).

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02
2	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,04
3	0,00	0,02	0,09	0,07	0,09	0,05
4	0,05	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07
5	0,00	0,00	0,17	0,06	0,09	0,06
6	0,11	0,02	0,05	0,04	0,09	0,06
7	0,08	0,00	0,04	0,08	0,00	0,04
8	0,03	0,03	0,18	0,08	0,08	0,08
9	0,02	0,00	0,04	0,22	0,00	0,06
10	0,00	0,04	0,10	0,07	0,06	0,05

X=0,058

Таблица 5. Результаты измерений листовых пластинок

по пяти параметрам (дерево № 3).

№ листа	Ширина половинок листа (мм)		Длина второй от основания листа жилки(мм)		Расстояние между 2 и 3 жилками (мм)		Расстояние между 2 и 3 жилкой от черешка с внешнего края листа		угол наклона второй жилки к центральной (гр)	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	22	24	30	29	8	7	10	10	50	50
2	26	26	34	35	10	11	10	10	40	35
3	20	20	28	26	9	8	8	6	45	40
4	24	21	39	39	7	13	9	9	30	30
5	24	24	33	33	11	10	10	10	40	40
6	18	18	30	33	11	10	7	9	20	30
7	19	16	24	23	6	8	7	6	45	35
8	20	18	27	27	8	10	7	7	35	35
9	19	20	29	28	8	7	7	7	40	35
10	20	20	29	33	11	11	7	10	30	30

Таблица 6. Результаты вычислений (дерево № 3).

№ листа	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z
1	0,04	0,02	0,07	0,00	0,00	0,03
2	0,00	0,01	0,05	0,00	0,07	0,03
3	0,00	0,04	0,06	0,14	0,06	0,06
4	0,07	0,00	0,30	0,00	0,00	0,07
5	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01
6	0,00	0,05	0,05	0,13	0,20	0,08
7	0,09	0,02	0,14	0,08	0,13	0,09
8	0,05	0,00	0,11	0,00	0,00	0,03
9	0,03	0,02	0,07	0,00	0,07	0,04
10	0,00	0,06	0,00	0,18	0,00	0,05

X=0,050