

Государственное учреждение образования Московского района
«Средняя школа №155 г. Минска»
220116, г. Минск, проспект газеты «Правда», 52, (8017) 227-51-09

**Биоиндикация антропогенной нагрузки на парковые экосистемы г.
Минска по состоянию пигментного аппарата берёзы повислой**

Автор:

Рак София, учащаяся 11 «А» класса
ГУО «Средняя школа №155 г. Минска»

Научные руководители:

ГУО «Средняя школа №155 г. Минска»
Климович Алеся Викторовна
учитель химии,
Черникова Наталья Сергеевна
учитель биологии

Минск, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	5
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ	9
ВЫВОДЫ.....	12
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	
13	
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	14

ВВЕДЕНИЕ

Растения в городе – это главные «лёгкие» мегаполиса, выполняющие средообразующую, санитарно-защитную, рекреационную, эстетическую функции, а их листовой аппарат способствует детоксикации газообразных веществ. В условиях урбанизированной среды насаждения подвергаются негативному воздействию загрязняющих веществ (выбросов промышленных предприятий и отработанных газов автотранспорта), что приводит к нарушению функционального состояния растений.

Листья являются основными органами древесных растений, осуществляющими фотосинтез. Фотосинтетическая деятельность — ключевой процесс метаболизма, который непосредственно определяет рост и развитие деревьев. Ассимиляционный аппарат чутко реагирует на неблагоприятные факторы внешней среды физиолого-биохимическими изменениями, в том числе связанными с трансформацией пигментного комплекса. В связи с этим исследование пигментной системы древесных пород актуально, поскольку зелёные насаждения в городе выполняют в основном защитную роль, эффективность которой напрямую зависит от стабильной работы фотосинтетических пигментов.

Изучение адаптационных возможностей и эффективности функционирования фотосинтетического аппарата растений в условиях техногенеза служит мощным инструментом экологического мониторинга. Это обусловлено тем, что фотосинтетическая система одной из первых подвергается действию стрессовых факторов. При этом в качестве адаптивных механизмов может выступать как мобилизация уже имеющихся приспособительных процессов, так и формирование новых защитных реакций.

Подобные исследования позволяют получить ценную информацию для оценки устойчивости растений к техногенному воздействию. Одним из способов сравнительно быстрой оценки степени токсического влияния на растительные организмы является регистрация показателей интенсивности флуоресценции хлорофилла и определение его концентрации. Данный метод основан на том, что воздействие техногенных факторов приводит к изменению концентрации пигментов, квантового выхода флуоресценции хлорофилла и снижению интенсивности фотохимического преобразования поглощённой световой энергии. Высокое содержание хлорофилла а, а также оптимальная величина отношения хлорофилла а/б могут служить индикаторами высокой потенциальной интенсивности фотосинтеза и благоприятных условий произрастания.

Цель исследования – изучение содержания хлорофилла а и б в листьях березы повислой, произрастающей в парках г. Минска, в качестве показателя антропогенной нагрузки на городскую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить литературу по данной теме;

2. Определить участки сбора листьев березы повислой в городе Минске;
3. Определить содержание хлорофиллов а и b в листьях березы повислой на спектрофотометре;
4. Рассчитать концентрацию пигментов в листьях;
5. Проанализировать полученные данные.

В Минске основными источниками загрязнения являются автотранспорт. Особенности рельефа могут способствовать локальному накоплению загрязняющих веществ, что отражается на состоянии растений, произрастающих в разных районах города. Поэтому изучение содержания хлорофиллов в ассимиляционном аппарате древесных пород имеет важное теоретическое и практическое значение для проведения экологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Берёза повислая, или берёза бородавчатая (лат. *Bétula péndula*)- вид растений рода Берёза (*Betula*) семейства Берёзовые (*Betulaceae*). Это широко распространённая лесообразующая порода, формирующая мелколиственные леса практически во всех климатических зонах, кроме тундры (рис.1)



рисунок 1 – Береза повислая

Она малотребовательна к внешней среде и может расти в самых разнообразных условиях, но не переносит сильной жары и близости грунтовых вод. Данная порода играет важную роль в сохранении и восстановлении лесных экосистем после пожаров и вырубок хвойных лесов.

Поглощение и трансформация солнечной энергии в процессе фотосинтеза осуществляется фотосинтетическими пигментами растений, в частности хлорофиллами и каротиноидами. Общее количество хлорофилла широко варьирует у разных видов, некоторые из которых содержат в два или три раза больше хлорофилла с деревьев на единицу сухой массы листьев, чем другие. Обычно на три части хлорофилла *a* приходится одна часть хлорофилла *b*. Изменения количества хлорофиллов можно проследить у одного и того же растения. Например, осенью, а также в листьях, подвергнутых действию водного стресса, хлорофилл *a* разрушается быстрее хлорофилла *b*.

Из этих двух форм хлорофилл *a* более эффективен в процессе фотосинтеза. Роль хлорофилла *b* преимущественно ограничивается передачей захваченной энергии на хлорофилл *a*.

Поглощение энергии хлорофиллами происходит в красной и синей части солнечного спектра. При этом максимальное поглощение для хлорофилла *a* наблюдается при длине волны 430 и 667 нм, а хлорофилла *b* — 455 и 645 нм.

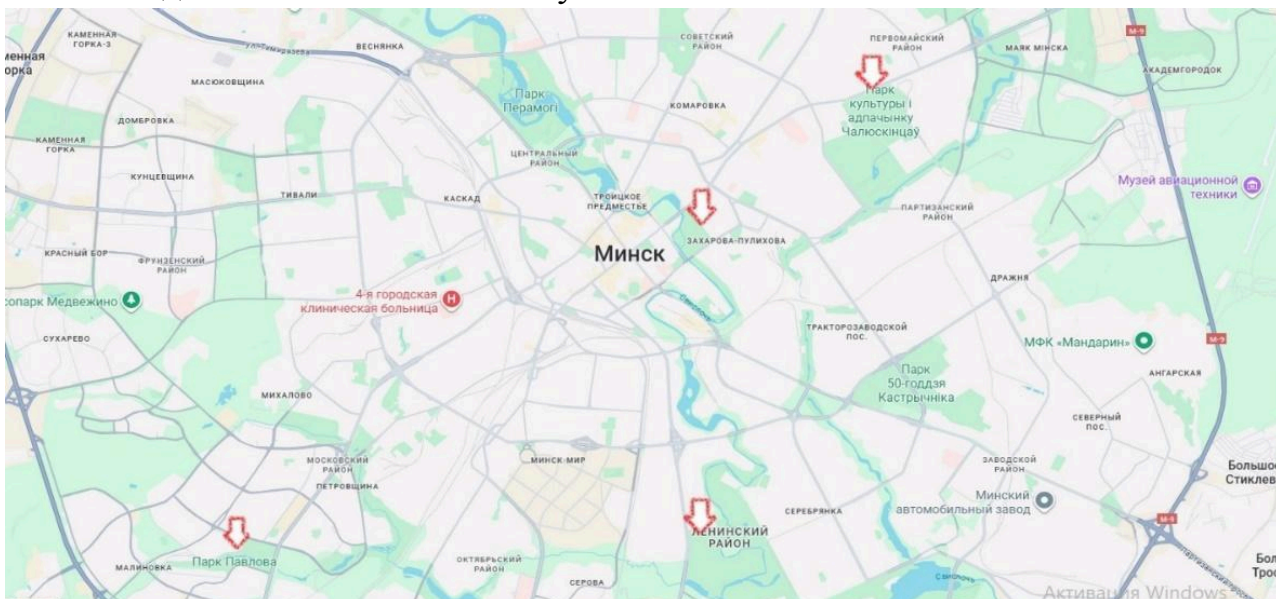
Постоянное присутствие в атмосфере промышленных регионов фитотоксичных примесей приводит к необходимости формирования у растений такой структуры листа, которая позволяет сохранить относительное равновесие фотосинтетического аппарата.

В процессе адаптации участвуют многие параметры, однако ведущим звеном следует считать изменение фотоактивной поверхности, регулируемой либо числом хлоропластов, либо их размерами, а следовательно, и концентрацией пигментов в фотосинтетических мембранах. Снижение общего содержания зеленых пигментов в условиях стресса часто сопровождается торможением их биосинтеза. При этом изменяется и отношение хлорофилла *a* к *b*. Содержание биологически активных соединений в ассимиляционном аппарате растений может использоваться в качестве тестирующего признака для биоиндикации состояния почв и атмосферного воздуха на предмет загрязнения промышленными поллютантами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки содержания фотосинтетических пигментов отбирались листья березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей на территории 4 парков г. Минска: парк Павлова, парк Горького, парк Челюскинцев, Лошицкий парк (рис. 2). В одной точке выбирали не менее 5 деревьев одного возраста и размера с ярко выраженными видовыми признаками, растущих на открытом месте во избежание стрессового влияния затенения.

С каждого дерева из нижней части кроны на уровне поднятой руки с максимального количества доступных веток, ориентированных по четырем сторонам света (север, юг, восток, запад), отбирали по 20–50 неповрежденных листьев, которые затем высушивали. Сбор растительного материала осуществляли в период активной вегетации, т.е. июне, июле и августе в середине дня - с 10.00 до 15.00 часов, когда содержание пигментов в листьях достигает своего максимума.



рисунк 2 – Парки г. Минска

Для оценки экологического состояния был выбран участок контрольный участок, расположенный в Минской области Дзержинском районе вблизи д. Станьково (рис. 3). Данная территория характеризуется наиболее благоприятными экологическими условиями, что позволяет использовать произрастающие на ней деревья берёзы в качестве эталона сравнения с растениями урбанизированной среды, подверженными влиянию промышленных предприятий и интенсивного автомобильного трафика.

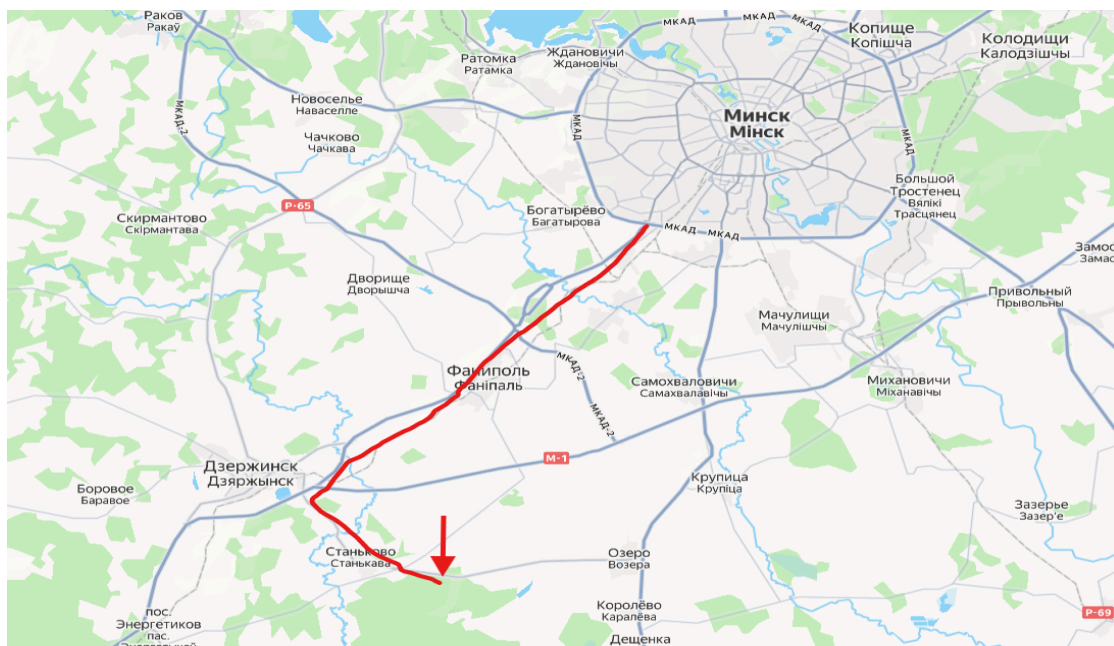


рисунок 3 – Контрольный участок

Биохимический анализ содержания фотосинтетических пигментов проводили на базе лаборатории фармацевтического факультета Белорусского государственного медицинского университета. Измерение содержания фотосинтетических пигментов в листьях проводилось с помощью спектрофотометра марки SOLAR UV-VIS PB 2201.

Концентрации пигментов (мг/л) в листьях рассчитывались в два этапа по формулам с учетом положения максимумов поглощения пигментов и поправочных коэффициентов на наличие других пигментов и компонентов, рассеивающих свет.

Измерения максимумов поглощения пигментов проводились в трехкратной повторности на длине волн фотосинтетических пигментов: 662 нм – хлорофилл а, 644 нм – хлорофилл б.

Концентрации пигментов в листьях березы повислой рассчитывались в два этапа по формулам Рогожина:

1 этап. Расчет концентрации пигментов листьев в спиртовом растворе (мг/л):

$$Ca = 9,784D662 - 0,99D644,$$

$$Cb = 21,426 D644 - 4,650D662,$$

$$Ca + Cb = 5,134D662 + 20,436D664,$$

где D662, D644 – оптическая плотность при длинах волн 662, 644нм соответственно; Ca, Cb – концентрация хлорофилла а, хлорофилла б в листьях объектов исследования (мг/л).

2 этап. Расчет количества пигментов в пробе (мг/100 г):

$$Co = C \cdot V \cdot V2 / m \cdot V1 \cdot 10,$$

где C – концентрация пигмента, мг/л; V – объем исходной вытяжки, мл; V1 – объем вытяжки, взятой для разбавления, мл; V2 – объем разбавленной вытяжки, мл; m – масса навески.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ содержания пигментов в листьях березы повислой выявил ряд следующих закономерностей.

Хлорофилл *a*. На контроле содержание хлорофилла *a* в листьях березы варьировало от 4,90 до 5,48 мг/100 г, существенных изменений концентрации данного пигмента на протяжении летних месяцев не отмечалось. Содержание хлорофилла *a* в листьях березы, произрастающей в парках г. Минска изменялось от 1,88 до 3,70 мг/100 г, что достоверно ниже по сравнению с контролем на 32– 62 % (табл. 1).

Наименьшее снижение концентрации хлорофилла *a* отмечено в парке Павлова, наибольшее — в Лошицком парке и парке Челюскинцев. В динамике по месяцам во всех точках отбора зафиксировано незначительное увеличение содержания хлорофилла *a* в июле и снижение в августе (рисунок 4).

Таблица 1. Динамика содержания хлорофилла *a* в листьях берез, растущих в парках г. Минска

Точки отбора проб	Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/100 г		
	июнь	июль	август
Контроль	5,20 ± 0,05	5,48 ± 0,09	4,90 ± 0,08
Парк Павлова	3,22 ± 0,05	3,70 ± 0,08	2,98 ± 0,04
Парк Горького	2,70 ± 0,06	3,40 ± 0,04	2,10 ± 0,05
Лошицкий Парк	2,60 ± 0,09	3,25 ± 0,08	1,88 ± 0,05
Парк Челюскинцев	2,60 ± 0,08	3,10 ± 0,05	1,98 ± 0,08

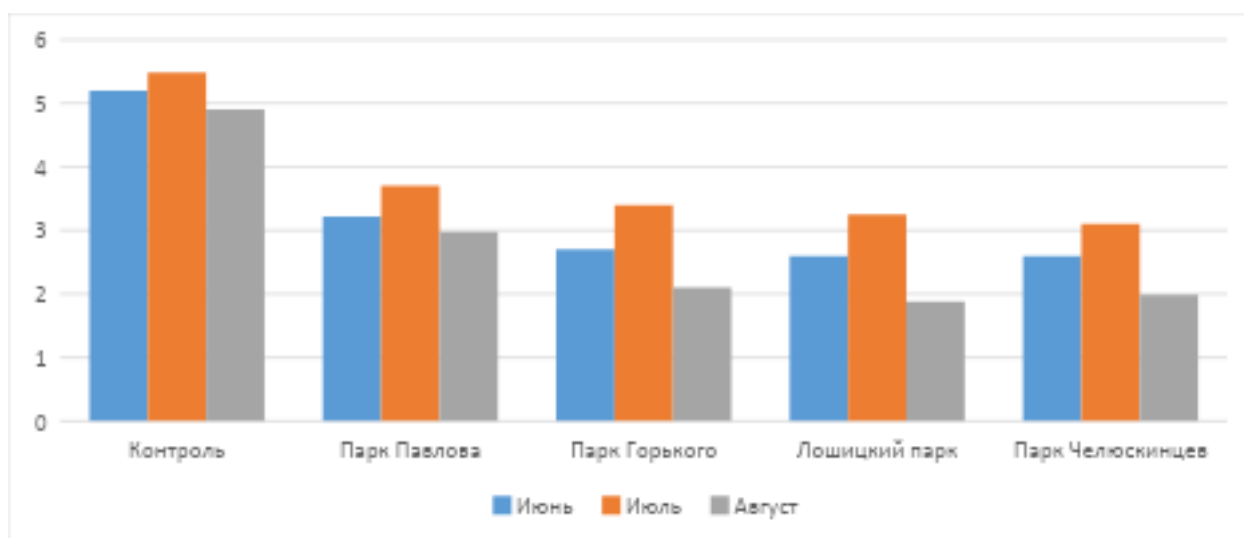


рисунок 4 – Содержание хлорофилла *a* в листьях березы повислой

Хлорофилл *b*. Содержание хлорофилла *b* на контрольном участке варьировало от 4,16 до 5,4 мг/100 г. В динамике отмечено его снижение в

июле и повышение в августе. Содержание хлорофилла *b* в листьях берез изменялось от 1,30 до 2,50 мг/100 г, что достоверно ниже по сравнению с контролем на 10–34 % (табл. 2). Относительно высокие значения исследуемого пигмента среди городских объектов наблюдались в Лошицком парке и парке Горького, более низкие — в парке Павлова и парке Челюскинцев. В динамике по месяцам у большинства городских деревьев выявлено резкое снижение концентрации пигмента в августе, за исключением парка Павлова, где показатели оставались стабильными (рис. 5)

Таблица 2. Динамика содержания хлорофилла *b* в листьях берез, растущих в парках г. Минска

Точки отбора проб	Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/100 г		
	июнь	июль	август
Контроль	4,89 ± 0,08	4,16 ± 0,06	5,4 ± 0,08
Лошицкий парк	2,38 ± 0,07	2,44 ± 0,08	1,46 ± 0,08
Парк Горького	2,40 ± 0,05	2,50 ± 0,06	1,48 ± 0,05
Парк Павлова	1,90 ± 0,08	1,93 ± 0,06	2,00 ± 0,06
Парк Челюскинцев	1,66 ± 0,06	1,74 ± 0,09	1,30 ± 0,04

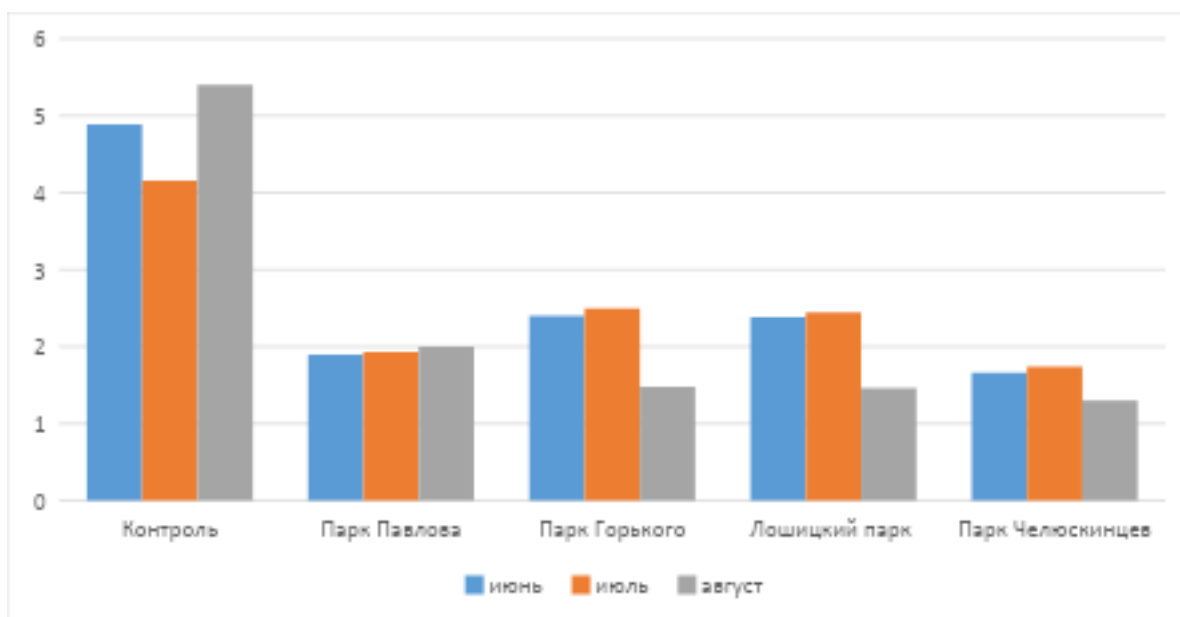


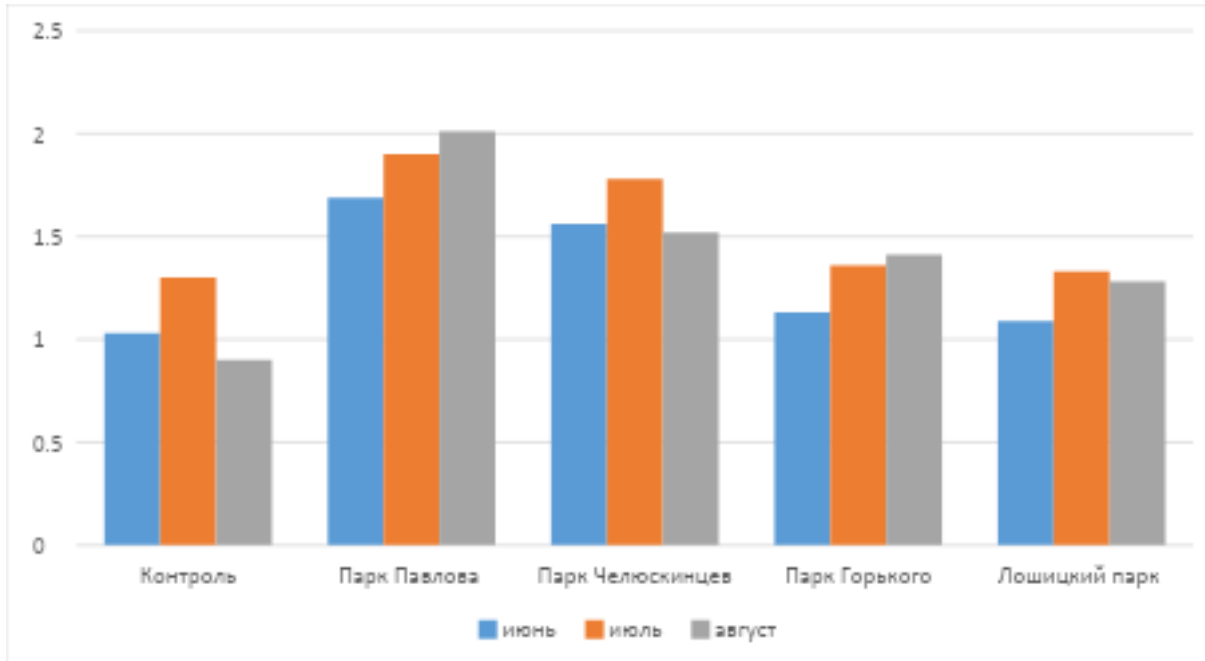
рисунок 5 – Содержание хлорофилла *b* в листьях березы повислой

Отношение хлорофиллов *a/b*. Величина отношения хлорофиллов *a/b* на контрольном участке изменялась в пределах от 0,90 до 1,30 (табл. 3)

Среди городских наибольшие значения данного индекса отмечены в парке Павлова, наименьшие — в Лошицком парке (рис. 6).

Таблица 3. Отношение хлорофиллов a/b в листьях берез, растущих в парках г. Минска

Точки отбора проб	Отношение хлорофиллов a/b		
	июнь	июль	август
Контроль	1,03	1,30	0,90
Парк Павлова	1,69	1,90	2,01
Парк Челюскинцев	1,56	1,78	1,52
Парк Горького	1,13	1,36	1,41
Лошицкий парк	1,09	1,33	1,28



рисунк 6 – Отношение хлорофиллов a/b в листьях березы повислой

ВЫВОДЫ

Проведена оценка содержания хлорофиллов а и b в листовых пластинках берёзы повислой, произрастающей в различных экологических условиях г. Минска и Минской области. Выявлены статистически достоверные различия в концентрации фотосинтетических пигментов в зависимости от уровня антропогенной нагрузки.

Количество фотосинтезирующих пигментов в урбанизированной среде напрямую определяется локацией насаждений. Под действием поллютантов происходит деструкция хлорофилла а либо ускорение его перехода в форму хлорофилла b, что согласуется с имеющимися литературными данными.

Минимальная антропогенная нагрузка зафиксирована в парке Павлова. Здесь отмечено наименьшее падение уровня хлорофилла а и наиболее высокое соотношение а/b, что указывает на относительно благоприятную экологическую обстановку на данной территории.

Выраженное снижение содержания пигментов и сужение пропорции а/b наблюдалось в парках Челюскинцев и Горького, что свидетельствует об ощутимом фитотоксическом воздействии городской среды.

Максимальный уровень антропогенной нагрузки и глубокое стрессовое состояние фотосинтетического аппарата выявлены у деревьев в Лошицком парке, где зафиксировано наибольшее падение концентрации хлорофилла а при низком соотношении а/b.

Перестройка пигментной системы и колебания уровня хлорофилла b носят адаптивный характер. Меньшая вариабельность концентрации хлорофилла b по сравнению с хлорофиллом а указывает на более высокую стабильность его молекул в условиях техногенного стресса.

К **практическим рекомендациям** относят: полученные данные могут быть использованы городскими службами зеленого хозяйства и природоохранными ведомствами для разработки адресных мероприятий по снижению техногенной нагрузки и оптимизации структуры озеленения Минска.

В качестве **перспектив дальнейшей** разработки темы планируется расширение спектра анализируемых пигментов (каротиноиды, флавоноиды), увеличение видового разнообразия исследуемых древесных растений, а также сопряженный анализ концентрации тяжелых металлов в почвенном покрове и растительном материале исследуемых рекреационных зон.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1. Главное статистическое управление г. Минска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minsk-city.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki.htm>
1. – Дата доступа: 23.09.2025
2. Кончина, Т. А. Полевой практикум по экологии: Учебно-методическое пособие / Т. А. Кончина. – Арзамас : АГПИ, 2007.
3. Куриленко, В. В. Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования водных экосистем / В. В. Куриленко, О. В. Зайцева. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского университета, 2013.
4. Мисейко, Г. Н. Биологический анализ качества пресных вод / Г. Н. Мисейко. – Барнаул : АлтГУ, 2011. – 201 с.
5. Мусатова, О. В. Биоиндикация и биоповреждения / О. В. Мусатова. – Витебск : ВГМУ им. Машерова, 2006.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Сухие листья березы повислой



Выпаривание на водяной бане смеси листьев и спирта



Определение содержания хлорофиллов а и b

