

муниципальное бюджетное образовательное учреждение  
дополнительного образования

Центр детского и юношеского творчества  
Староюрьевского района Тамбовской области

Региональный этап Всероссийского конкурса  
юных исследователей окружающей среды

Номинация «Экологический мониторинг»

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

**БЕРЁЗА ПОВИСЛАЯ  
КАК ИНДИКАТОР  
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Автор: Дрокова Ангелина Сергеевна,  
учащаяся творческого объединения  
«Экологический клуб «Терра»,  
11 класс

Руководитель: Беленова Ирина Ивановна,  
педагог дополнительного образования

с.Староюрьево  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Проблема исследования	3
Цель исследования	3
Задачи исследования	3
Гипотеза исследования	4
Объект и предмет исследования	4
Место проведения исследования	4
Сроки проведения исследования	4
Актуальность исследования	4
Краткий литературный обзор	4
Характеристика исследуемого участка	6
1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	6
1.1. Эколого-биологические особенности берёзы повислой ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	6
1.2. Оценка качества среды методом флуктуирующей асимметрии	7
1.3. Оценка качества среды по разложению клетчатки листового опада	8
1.4. Анализ запыленности среды по пылевым отложениям	9
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
ВЫВОДЫ	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	12
ПРИЛОЖЕНИЯ	13

## ВВЕДЕНИЕ

### Проблема исследования

Формирование современного облика планеты происходило вследствие деятельности живых организмов. Сущность круговорота веществ в биосфере (биогеохимический цикл) заключается в образовании живого вещества из неорганических соединений в процессе фотосинтеза и в превращении органического вещества при разложении вновь в неорганические соединения [7].

Особое значение в эволюции биосферы имели зеленые автотрофные растения. Именно они в процессе фотосинтеза трансформируют солнечную радиацию в энергию химических связей органического вещества, которая затем многократно используется в биотическом круговороте посредством трофических цепей.

Растительность как компонент окружающей среды, тесно взаимодействуя с водой, воздухом, почвой, участвует в поддержании равновесия природных экосистем, проблемой которых в настоящее время является ослабление их средообразующей функции и нарушение равновесия между отдельными функциональными группами организмов – продуцентами, консументами, редуцентами – в связи с возросшим антропогенным воздействием в населенных территориях [12].

Факторы антропогенной деятельности существенно изменяют химические, физические, механические и биологические параметры биогеоценозов даже при отсутствии промышленных производств. На территории МБОУ Староюрьевской средней общеобразовательной школы и МБОУ Центра детского и юношеского творчества, расположенного на ее базе, создается специфическая среда, на которую влияет электромагнитные поля (воздействие линий электропередачи, станций мобильной связи и т.д.), повышенный фон вибрации (следствие высокой скорости транспортных средств), понижение ультрафиолетовой радиации (следствие запыленности воздуха), повышение уровня шума и другие физические и химические явления.

**Цель исследования:** проведение оценки экологического состояния территории с использованием берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в качестве биологического индикатора.

**Задачи исследования:**

1. Изучить эколого-биологические параметры берёзы повислой.
2. Оценить качество среды с использованием метода флуктуирующей асимметрии.
3. Произвести оценку активности почвенных деструкторов по степени разложения листьев берёзы повислой.
4. Установить зависимость степени запыленности воздуха и средней скорости осаждения пыли от антропогенной нагрузки.
5. Произвести визуальную и статистическую обработку и дальнейшую интерпретацию полученных данных.
6. Определить целесообразность использования в качестве биологического индикатора качества природной среды берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.).

**Гипотеза исследования:** динамика морфологических параметров листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) может выступать биологическим индикатором оценки антропогенной нагрузки биогеоценоза.

**Объект исследования:** листья берёзы повислой.

**Предмет исследования:** морфологическое состояние берёзы повислой.

**Место проведения исследования:** село Староюрьево, территория МБОУ Староюрьевской средней общеобразовательной школы (*приложение 1*).

**Сроки проведения исследований:** сентябрь 2020 года – октябрь 2021 года.

### **Актуальность исследования**

Биоиндикационные методы исследования предусматривают выявление уже состоявшегося или происходящего загрязнения окружающей среды по функциональным характеристикам особей в биогеоценозе [9].

Берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) внесена в реестр растений, рекомендованных Министерством природных ресурсов Российской Федерации, с помощью которых можно проводить оценку качества окружающей среды во всех географических зонах России, за исключением зоны тундр, полупустынь, пустынь и высокогорий. Лист является важнейшим вегетативным органом дерева, по изменению морфологических признаков которого судят об антропогенных воздействиях на окружающую среду [8].

Организм в нормальных условиях реагирует на воздействие среды посредством сложной физиологической системы буферных гомеостатических механизмов, поддерживающих оптимальное протекание процессов развития. Под воздействием неблагоприятных условий берёза дает характерные ненправленные (случайные) отклонения от билатеральной симметрии листьев, которые называют флуктуирующей асимметрией. По мере накопления токсических веществ при формировании листовой пластины происходит торможение ростовых процессов и деформация листа: между правой и левой (R - L) сторонами наблюдается различие в размерах площади листовой пластинки [15].

Берёза обладает высокими поглотительными качествами, реагируя на загрязнение среды обитания продуктами техногенеза – диоксида серы, углекислого газа, пыли. По степени разложения клетчатки берёзовых листьев можно судить об аккумулялирующей функции почвы в биогеоценозе, проследить особенности круговоротов биогенных элементов природных и урбанизированных экосистем [4].

### **Краткий литературный обзор**

Применение биологических методов для оценки среды известно еще со времен античных ученых: именно они обратили внимание на связь условий произрастания растений с их обликом. В работе Теофраста «Природа растений» (327-287 гг. до н.э.) содержатся советы о том, как судить о свойствах земель по характеру растительности. В трудах римлян Плиния Старшего и Катона можно встретить аналогичные сведения. Колумелла (I в. до н. э) сформулировал идею биоиндикации с помощью растений: «Рачительному хозяину

подобает по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может хорошо на ней расти».

А.П.Карпинский писал о возможностях использования растительного покрова для составления геологических карт почв и подстилающих горных пород. Наиболее важной стороной биохимической деятельности растений является синтезирование органического вещества и вследствие этого перераспределение газов на поверхности Земли. Одновременно в миграцию включаются многочисленные химические элементы из почвы, остающиеся после минерализации органических остатков редуцентами в составе золы. Циклическая миграция зольных элементов в системе почва - растения, открытая Ю.Либихом, получила название биологического круговорота. Из-за длительных холодных сезонов, а также возрастающей антропогенной нагрузки, подавляющих микробиологическую активность, полного разрушения опадающих частей растений не происходит [4, 9].

Круговорот отдельных веществ В.И.Вернадский (1930) назвал биогеохимическими циклами, при которых химические элементы, поглощенные организмом, впоследствии покидают его, уходя в абиотическую среду, затем, через какое-то время снова попадают в живой организм и т.д. [2]. По словам Кашина, Иванова (1985), «растения являются высокоинформативным индикатором уровня доступных форм химических элементов в окружающей среде и основным источником их для человека и животных. В связи с этим они представляют большой интерес в качестве эффективных объектов при экологическом мониторинге загрязнения окружающей среды ...» [11].

У.Д.Мэнинг и У.А.Федер (1988) определяют растение-индикатор как «растение, у которого признаки повреждения появляются при воздействии на него фитотоксичной концентрации одного загрязняющего вещества или смеси таких веществ» [14]. Индикаторными могут быть так же те растения, которые аккумулируют в тканях загрязняющие вещества или продукты метаболизма, получаемые в результате взаимодействия растения и загрязняющего вещества.

Величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в настоящее время широко используется для оценки уровня загрязнения окружающей среды (Криволицкий, 1993). Случайные незначительные отклонения от симметричного состояния билатеральных морфологических структур, обусловленные стохастичностью молекулярных процессов, лежащих в основе экспрессии генов (онтогенетическим шумом) представляют собой флуктуирующую асимметрию [6]. При действии любых стрессовых факторов среды, которые приводят к усилению онтогенетического шума, нарушению стабильности морфогенеза листа, величина флуктуирующей асимметрии возрастает (Захаров, Яблоков, 1985).

Д. Е.Гавриков и С.Г.Баранов сравнивали разные методы оценки окружающей среды с помощью исследования морфологических показателей в своей работе «Сравнение методов оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *Betula pendula* Roth.» и пришли к выводу, что данный метод может быть

использован для оценки качества здоровья среды, так как сходные тенденции в флуктуации листовых пластин берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) были выявлены разными методами [1, 16]. По мере накопления токсических веществ, при формировании листовой пластины, происходит деформация листа и торможение ростовых процессов. На деревьях, испытывающих высокую техногенную нагрузку, при окончательном формировании листовых пластин их площади меньше, чем на деревьях, произрастающих в более благоприятных экологических условиях [1, 15].

### **Характеристика исследуемого участка**

Территория МБОУ Староюрьевской средней общеобразовательной школы занимает квартал села Староюрьево, расположенный между двумя улицами – Ломоносова и Школьная. Площадь земельного участка составляет 0,7 га. Форма участка представляет собой вытянутую трапецию с основанием длиной 150 м по южной стороне. Длинные стороны участка располагаются по восточной (ул.Школьная) и западной (ул.Ломоносова) сторонам. С восточной и южной стороны расположена асфальтированная пешеходная зона, в центре - спортивная площадка (*приложение 1*).

Растительность представлена газонами с дернисто луговыми видами трав, берёзовыми и еловой аллеями. Имеются отдельные посадки дубов и яблонь, северная сторона участка занята фруктовым садом. Насаждения произрастают на средне выщелоченном черноземе с достаточным увлажнением почв. В летнее время берёзовые аллеи являются местом отдыха и игр школьников.

На обеих улицах наблюдается постоянное движение легкового и большегрузного транспорта: со стороны улицы Ломоносова проходит трасса Тамбов-Староюрьево-Сосновка-Шацк, с улицы Школьной к образовательной организации примыкает еще и автомобильная парковка. Поток участников образовательного процесса (992/человека в день) в большей степени затрагивает восточную, южную и западную части школьного участка (*приложение 2*).

Для проведения исследования было выбрано три площадки: березовые аллеи со стороны улицы Ломоносова (контрольная точка 1) и улицы Школьная (контрольная точка 3), находящиеся в непосредственном контакте с проезжей частью; отдельно стоящие деревья на территории школы, расположенные на равноудаленном расстоянии от обеих улиц (контрольная точка 2) (*приложение 1*).

## **1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1. Эколого-биологические особенности берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.)**

Классификация березы повислой: домен - Эукариоты, царство - Растения, подцарство - Зелёные растения, надотдел - Высшие растения, отдел – Цветковые, класс – Двудольные, порядок – Букоцветные, семейство – Берёзовые, род - Берёза.

Дерево высотой 15-25м. Ветви поникают, листья голые, вначале с узкой, остроконусовидной, затем округлой сводчатой или неравномерной кроной. [17] Ствол прямой или искривленный, иногда наклонен в одну сторону. Нижние ветви довольно короткие, горизонтальные, ветви среднего и верхнего яруса круто восходящие. Ветки очень длинные и стройные, у старых деревьев валеобразно свисают с ветвей. Кора гладкая, серебристо-матовая, с отдельными серо-белыми поперечными отметинами; в зрелом возрасте, особенно у основания ствола, с грубыми, бугорчатыми, глубокими черными трещинами. На молодых ветках кора обычно розово-белая, на ветвях – блестящая темно-красно-коричневая. Побеги с маленькими бородавчатыми отростками (железками), отсюда второе название берёзы - бородавчатая. Почки коричневатые или блестящие зеленые, длиной около 4мм, слегка заостренные. Листья длиной 2-6 см, округло-овальные или треугольные, иногда ромбовидные, с обеих сторон голые, кажутся очень тонкими и легкими.

Растение однодомное. Мужские сережки длиной 3-6 см, вначале коричневатые, затем светло-желтые. Женские сережки вначале зеленоватые, в период созревания светло-коричневые (*приложение 3*).

Обитает на рыхлых светлых слабобразвитых почвах, не переносит чрезмерного затенения. Цветет в марте-мае. [10] Порядок расположения листьев на стебле (филлотаксис) может быть выражен дробью. Самые крайние клетки на верхней и нижней стороне листового бугорка дифференцируются в клетки эпидермиса, покрытые с поверхности пропитанной воском пленкой-кутикулой. Эта пленка, сравнительно малопроницаемая для воды, предохраняет листья от высыхания. В эпидермисе имеется, особенно на нижней стороне листа, большое количество замыкающих клеток, которые регулируют открывание и закрывание устьичных щелей.

Фотосинтезирующую часть листа пронизывают многочисленные жилки, состоящие из ксилемы и флоэмы. По этим клеткам вода и минеральные вещества поступают в лист, а продукты фотосинтеза выводятся из него. Все эти проводящие пучки связаны со срединной жилкой листа, проходящей сквозь его черенок и соединяющей с главной сосудистой системой листа.

Берёза образует производные леса, возникающие на месте вырубленных или сгоревших сосняков, ельников, лиственничников, дубняков. Она быстро заселяет освободившиеся территории и господствует на них, создавая временные группировки; в дальнейшем вытесняется другими древесными породами.

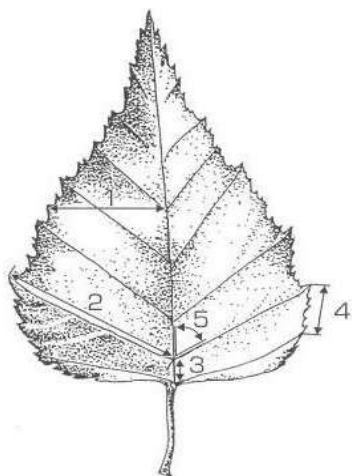
## **1.2. Оценка качества среды методом флуктуирующей асимметрии**

Сбор материала производился на трех контрольных точках в сентябре 2021 года после остановки роста листьев. Для исследования выбирались деревья, достигшие генеративного возрастного состояния.

У дерева со всех доступных веток собирали сто листьев из нижней части кроны. Размер листьев должен быть сходным, средним для данного растения.

Выбирались побеги одного типа (только укороченные побеги). Все листья для одной выборки помещались в бумажные пакеты и маркировались.

Для измерения лист березы нужно положить перед собой внутренней стороной вверх. У каждого листа измерялись по пять признаков справа и слева [13, 15]:



**Рис.1. Схема морфологических признаков, используемых для оценки стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth.)**

- 1 - ширина левой и правой половинок листа.
- 2 - длина жилки второго порядка, второй от основания листа;
- 3 - расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4 - расстояние между концами этих же жилок;
- 5 - угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

Измерения проводятся в сантиметрах (пункты 1-4) и градусах (пункт 5). При вычислении асимметрии листовой пластины, находили модуль разности между промерами слева (L) и справа (R) делили на сумму этих же промеров:  $|L-R| / |L+R|$ . Вычисляли показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммировали значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делили на число признаков [5]. Результаты исследований заносили в таблицы (приложение 5,6).

Для оценки степени антропогенного воздействия была использована пятибалльная шкала последствий в нарушении стабильности развития берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), или бородавчатой (приложение 4). Диапазон значений интегрального показателя стабильности развития до 0,040 соответствует первому баллу (условная норма), от 0,040 до 0,044 - второму баллу, от 0,045 до 0,049 - третьему баллу, от 0,050 до 0,054 - четвертому баллу, от 0,054 и выше - пятому баллу (критическое состояние). Значения интегрального показателя асимметрии, соответствующие первому баллу наблюдаются в выборках растений из благоприятных условий произрастания. Пятый балл - критическое значение показателя асимметрии, наблюдающееся в крайне неблагоприятных условиях, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии (Криволуцкий, 1993).

### **1.3. Оценка качества среды по разложению клетчатки листового опада**

Метод позволяет произвести оценку работы почвенных редуцентов (организмов-деструкторов) по скорости и степени разложения опавших листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) [13].

На каждой контрольной площадке были заложены навески листьев сухого и влажного березового опада в количестве 40 г в каждом варианте с трехкратным повтором. Образцы листьев зашивали в капрон и выдерживали в почве в течение 12 месяцев – с 7 сентября 2020 года по 6 сентября 2021 года. Затем образцы собирали, высушивали в сушильном шкафу при температуре 100°C до воздушно-сухого состояния и проводили повторное взвешивание. Скорость работы почвенных деструкторов оценивали по изменению массы сухого образца по отношению к первоначальному весу за единицу времени (г/сутки). По разнице между первичным весом образцов и весом после высушивания, определяли степень разложения клетчатки в % (*приложение 8*).

При изучении степени разложения листьев учитывались влажность опада и степень уплотнения почвы. Для оценки интенсивности разложения клетчатки (% за сезон) используется следующая шкала: очень слабая – меньше 10%, слабая – 10-30%, средняя -31-50%, сильная – 51-80%, очень сильная – больше 80% (*приложение 10*).

#### **1.4. Анализ запыленности среды по пылевым отложениям**

Летом на исследуемой территории твердые частицы поступают в атмосферу от двух различных источников: продукты неполного окисления топлива в автомобильных двигателях (сажа) и пыль, поднятая ветром с почвенного покрова. Твердые частицы медленно осаждаются и накапливаются на горизонтальных поверхностях [1,3]. Хорошим сборником пыли служат кроны берёзы повислой. Исследования проводились со 2 по 17 июля 2021 года (16 дней) в сухую жаркую погоду (*приложение 13*).

С деревьев из нижней части кроны собирали по 10-15 листьев и обмывали с них пыль окунанием в стеклянный стакан. Полученную взвесь отфильтровывали через предварительно высушенный и взвешенный фильтр. Затем фильтр просушили и вновь взвесили. Масса пыли (в мг) определялась как разница масс фильтра до и после фильтрации.

После смыва пыли листья протерли, выбрали произвольно 5 штук разного размера и обвели каждый из них на бумаге. Затем бумага вырезалась по контуру, вырезанные проекции взвешивались. Из той же бумаги вырезали и взвесили квадрат 10×10 см. Поверхность обмытых листьев ( $S$ ) рассчитывали по формуле:

$$S = \frac{m_1 \cdot P \cdot 100}{5 \cdot m_2} = \frac{m_1 \cdot P \cdot 20}{5 \cdot m_2} \text{ (см}^2\text{)},$$

где  $m_1$  – масса вырезанных проекций бумаги, мг;  $m_2$  – масса квадрата 10×10 см бумаги, мг;  $P$  – количество обмытых листьев.

После этого определили количество пыли, осевшей на 1 м<sup>2</sup> листы и подсчитали скорость осаждения пыли за сутки (*приложение 14*).

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ полученных на контрольных участках данных выявил признаки антропогенной нагрузки на исследуемую территорию.

Постоянное присутствие в атмосфере веществ-токсиканов, выделяемых автомобильным транспортом, приводит к изменению морфологических структур растений. Размер листовых пластин берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) находится в прямой зависимости от показателей техногенной нагрузки: у деревьев, расположенных в непосредственной близости к проезжей части, листья мельче, ростовые процессы угнетены (*приложение 5*). При оценке экологического состояния природной среды с помощью флуктуирующей асимметрии интегральный показатель для площадки по улице Ломоносова достиг значения 0,051, для площадки по улице Школьная - 0,052, что соответствует 4 баллам качества среды обитания (близко к критическому состоянию). Для деревьев, расположенных в глубине школьного двора, интегральный показатель составил величину 0,043 (2 балл оценки качества, оптимальное значение) (*приложение 7*).

В ходе эксперимента было выявлено, что на всех трех исследуемых участках присутствует деятельность почвенных деструкторов, однако скорость их работы снижена на площадках с большим антропогенным воздействием: на контрольной площадке 1 (ул.Ломоносова) скорость распада клетчатки листьев составила 0,099 г/сутки; на контрольной площадке 3 (ул.Школьная) – 0,053 г/сутки. Самая высокая активность аккумуляции органических веществ почвой наблюдалась на контрольной площадке 2 (территория школы), там скорость разложения листьев берёзы составила 0,119 г/сутки (*приложение 11*).

Было установлено, что скорость и степень разложения клетчатки листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) зависит от влажности опада и плотности почвы. Степень распада сухого опада на контрольных точках была приблизительно в два раза меньше, чем влажных листьев (26/65%, 37/72%, 20/58%) (*приложение 9*).

Прослеживается четкая зависимость изменения степени разложения клетчатки листьев от степени уплотнения почвы. Чем выше степень уплотнения почвы, тем ниже степень разложения клетчатки. Так, на исследуемой площадке 1 (ул.Ломоносова), где расположено любимое место отдыха старшеклассников и значение плотности почвы оценивалось в 65%, средняя степень разложения листьев составила 45,5% (средняя). На площадке 3 (ул.Школьная) почва имеет еще большую плотность (80%) из-за ежедневного скопления учащихся младших классов, ожидающих школьные автобусы, степень разложения клетчатки там составила 29,1% (слабая). Почва площадки 2 имела плотность 40% (наименьшую из трех участков), степень разложения опада там составила 54,5% (сильная). Это говорит о том, что в данных условиях происходит нарушение деятельности деструкторов, и разложение органических остатков тормозится (*приложение 12*).

Результаты оценки экологического состояния среды по пылевым отложениям показали, что наибольшую нагрузку получают исследуемые экземпляры берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), расположенные вблизи автострад. Су-

точное осаждение пыли в летний период на 1 м<sup>2</sup> листьев по участку на ул.Ломоносова составило 415,8 мг, по участку на ул.Школьная – 405,9 мг. Деревья, находящиеся в глубине школьного двора, осаждали пыли меньшее количество пыли – 164,2 мг в сутки (*приложение 14, 15*).

### **ВЫВОДЫ**

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Территория Староюрьевской средней школы подвергается антропогенному воздействию, возникающему при загрязнении воздуха, что выражается в нарушении морфологических параметров берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), используемой в качестве биоиндикатора.

2. Основным источником техногенной нагрузки следует считать автомобильный транспорт, так как более высокая степень флуктуирующей асимметрии и запыленности листьев наблюдается у деревьев, растущих вблизи транспортных потоков.

3. По степени разложения клетчатки берёзовых листьев можно судить о зависимости активности почвенных организмов-деструкторов и аккумулирующей функции почвы в биогеоценозе от антропогенных факторов.

4. Нельзя судить о динамике антропогенной нагрузки на исследуемую территорию, так как в работе была проведена только оценка состояния среды.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Метод мониторинга окружающей среды, основанный на исследовании воздействия изменяющихся экологических факторов на различные характеристики биологических объектов и систем, дает представление о закономерностях и механизмах формирования реакции данных систем на совместное действие факторов разной природы. Биоиндикационные показатели ясно отражают картину состояния самих растительных организмов.

Берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) может выступать в качестве биологического индикатора состояния природной среды, так как дает четкие реакции на изменение ее экологического состояния. При проведении исследований используются не сложные инструментальные методы, а простые описательные шкалы, с помощью которых сравниваются и фиксируются все изменения, наблюдаемые в естественных и искусственных природных комплексах в результате активного влияния антропогенного фактора.

Наиболее конструктивно использовать биоиндикаторы одновременно с инструментальным контролем за состоянием окружающей природной среды, применяемым при локальном мониторинге источников или объектов загрязнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмина Т.Я. Школьный экологический мониторинг /Т.Я.Ашихмина. - М., 2006.-357с.
2. Акимова, Т.А.Экология. Т.А Акимова. В.В. Хаскин. - М.,2002.-566с.
3. Владимиров В.В. Расселение и экология / В.В. Владимиров. - М., 1996.- С. 118-125.
4. Владыченский А.С. Роль почвы в биологических циклах элементов// Биология в школе №5/А.С. Владыченский. -1992.- с. 10-14.
5. Волкова П.А., Шипунов А.Б. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. - М.: Экопресс, 2008.
6. Горышина Т. К. Экология растений / Т.К.Горышина - М.: Высшая школа, 1991.- с.310-315.
7. Добровольский Г.В. Экологические функции почвы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. - М.,1986. – 432с.
8. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: практика оценки. / В.М. Захаров, А.Т.Чубинишвили, С.Г.Дмитриев, А.С.Баранов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000.
9. Карташев, А.Г. Биоиндикация. Экологического состояния окружающей среды / А.Г. Карташев. Томск. - 1999. - С. 3-15.
10. Кремер, Б.П. Деревья / Б.П. Кремер.- М.-2002. - 106с.
11. Криволицкий Д.А. Экологическое нормирование на примере радиоактивного загрязнения экосистем /Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. - М., 1988.
12. Луканин, В.Н. Промышленно - транспортная экология / В.Н. Луканин. - М. - 2003. - С. 12-14, С. 75-77.
- 13.Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева; под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой. - М.: Издательский центр «Академия», 2007.
14. Мэнниг У.Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы/ У.Д.Мэнниг, У.А. Федер. - Л.: Гидрометеиздат, 1985.
15. Потапова, Т.В. «Метод оценки здоровья природной среды по нарушениям билатеральной симметрии листьев» / Т.В. Потапова // Исследовательская работа школьников. -2005. - №3. -С.105-112.
16. Федорова А.И. Биоиндикация состояния городской среды по реакциям древесных растений/ Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. Воронеж: Изд-во Квадрат, 1996.
17. Шанцер, И.А. Растения средней полосы Европейской России / И.А. Шанцер. - М. - 2004. -122с.
- 18.. <https://nauka.club/biologiya/infuzoriya-tufelka.html>

## ПРИЛОЖЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Место проведения исследований (масштаб 1 см 30 м)



Фото 1. Расположение контрольных точек на территории МБОУ Староюрьевской средней общеобразовательной школы



Схема 1. Пути передвижения по исследуемой территории

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Общий вид контрольных точек



Фото 2. Контрольная точка 1 (улица Ломоносова)



Фото 3. Контрольная точка 2 (территория школы)



Фото 4. Контрольная точка 3 (улица школьная)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3



### Рисунок 1. Берёза повислая (*Betula pendula* Roth.):

1 - общий вид, 2 - осенняя ветвь с заложившимися листовыми и тычиночными почками, 3 - зимняя ветвь, 4 - весенняя ветвь с тронувшимися в рост листовыми и тычиночными почками, 5 - ветвь с тычиночными и пестичными серёжками, 6 - мужской цветок, 7 - женский цветок, 8 - ветвь с плодовыми серёжками, 9 - зрелая плодовая серёжка, 10 - плод - крылатый орех

Балльная шкала оценки качества среды обитания

№	Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листа	Балл состояния
1.	Менее 0,040 (условная норма)	1
2.	0,040-0,044	2
3.	0,045-0,049	3
4.	0,050-0,054	4
5.	Более 0,054 (критическое состояние)	5

Определение флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.)



Фото 5-7. Проведение замеров параметров листьев с контрольных точек



Фото 8. Общий вид листовых пластинок на контрольной точке 1 (ул.Ломоносова)



Фото 9. Общий вид листовых пластинок на контрольной точке 2 (территория школы)



Фото 10. Общий вид листовых пластинок на контрольной точке 3 (ул.Школьная)

**Примеры матриц для обработки данных  
по оценке стабильности развития березы повислой**

**Таблица 2**

**Значения мерных признаков (промеры листа, см), с.Староюрьево, ул.Ломоносова**

№	Номер признака									
	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1.	2,3	2,2	3,8	3,7	0,6	0,7	1,0	1,0	40	39
2.	1,9	2,0	3,9	3,7	0,3	0,3	1,2	1,1	45	44
3.	2,1	2,0	3,9	3,7	0,2	0,2	0,9	0,8	51	50
4.	2,2	1,9	3,4	3,5	0,4	0,4	0,9	1,1	43	40
5.	2,3	2,2	4,2	4,0	0,5	0,3	1,1	0,9	36	40
6.	2,4	2,6	4,2	4,1	0,5	0,5	1,2	1,0	42	44
7.	2,2	2,4	4,3	4,5	0,5	0,5	1,2	0,9	35	33
8.	2,5	2,3	3,8	3,7	0,6	0,5	1,1	0,9	41	41
9.	1,9	2,2	3,0	3,2	0,3	0,3	1,0	0,9	50	49
10.	2,4	2,6	4,1	4,1	0,3	0,5	0,8	0,8	32	31
...										
100	2,2	2,3	3,6	3,7	0,4	0,5	1,1	1,0	42	42

**Таблица 3**

**Расчет интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке,  
с. Староюрьево, ул.Ломоносова**

№	Значение признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1.	0,018	0,013	0,076	0	0,012	0,023
2.	0,025	0,013	0	0,03	0,01	0,016
3.	0,024	0,026	0	0,058	0,009	0,023
4.	0,073	0,014	0	0,1	0,036	0,045
5.	0,018	0,024	0,25	0,1	0,052	0,181
6.	0,04	0,012	0	0,09	0,023	0,033
7.	0,043	0,022	0	0,1	0,022	0,037
8.	0,041	0,013	0,09	0,1	0	0,049
9.	0,073	0,032	0	0,052	0,01	0,033
10.	0,04	0	0,25	0	0,031	0,064
...						
100	0,018	0,012	0,036	0	0,011	0,015
<b>Среднее значение</b>						<b>0,051</b>

**Таблица 4**

**Значения мерных признаков (промеры листа), с.Староюрьево, ул.Школьная**

№	Номер признака									
	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1.	2,1	2,1	3,8	3,7	0,5	0,6	0,7	0,9	42	37
2.	1,8	1,6	3,1	3,2	0,8	0,8	0,8	0,9	41	42
3.	1,6	1,7	3,2	3,2	0,7	0,7	0,7	0,8	40	38
4.	2,1	1,9	3,4	3,5	0,5	0,4	0,6	0,6	41	38
5.	2,0	2,3	3,0	3,3	0,5	0,4	0,6	0,8	39	37
6.	1,7	1,9	3,2	3,3	0,4	0,3	0,5	0,6	42	42

7.	1,9	2,0	3,4	3,3	0,6	0,6	0,6	0,6	45	39
8.	1,9	2,1	3,3	3,4	0,5	0,5	0,9	0,8	37	36
9.	1,4	1,6	2,7	2,8	0,7	0,6	1,0	0,8	51	53
10.	1,7	2,1	2,4	3,2	0,6	0,4	1,3	0,9	43	43
...										
100	2,1	2,1	3,2	3,3	0,4	0,4	1,1	1,0	42	43

**Таблица 5**

**Расчет интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке,  
с. Староюрьево, ул.Ломоносова**

№	Значение признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1.	0	0,013	0,09	0,125	0,063	0,058
2.	0,058	0,015	0	0,058	0,012	0,028
3.	0,03	0	0	0,066	0,026	0,024
4.	0,05	0,029	0,111	0	0,043	0,047
5.	0,069	0,047	0,111	0,142	0,026	0,079
6.	0,056	0,015	0,142	0,25	0	0,092
7.	0,025	0,013	0	0	0,071	0,021
8.	0,073	0,015	0	0,058	0,014	0,032
9.	0,066	0,018	0,076	0,111	0,019	0,058
10.	0,142	0,142	0,2	0,064	0	0,109
...						
100	0	0,015	0	0,09	0,012	0,023
<b>Среднее значение</b>						<b>0,052</b>

**Таблица 6**

**Значения мерных признаков (промеры листа), с.Староюрьево, территория школы**

№	Номер признака									
	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1.	2,4	2,2	3,8	3,9	0,2	0,1	1,2	1,1	53	47
2.	2,2	2,2	3,7	3,9	0,3	0,3	1,5	1,4	50	49
3.	3,0	3,2	4,3	4,2	0,4	0,4	1,4	1,3	54	51
4.	2,8	2,9	4,1	4,2	0,5	0,5	1,2	1,3	51	47
5.	2,5	2,5	3,5	3,7	0,3	0,4	1,2	1,1	47	42
6.	3,1	3,2	4,3	4,5	0,4	0,3	1,1	1,3	51	50
7.	2,7	2,8	4,1	4,3	0,6	0,7	1,2	1,4	55	53
8.	3,1	3,1	3,3	3,4	0,4	0,4	0,9	0,8	49	47
9.	2,4	2,6	3,7	3,8	0,4	0,4	1,2	1,3	51	53
10.	2,7	2,8	3,4	3,2	0,3	0,3	1,3	1,2	52	51
...										
100	3,1	3,1	4,2	4,3	0,4	0,4	1,1	1,0	51	49

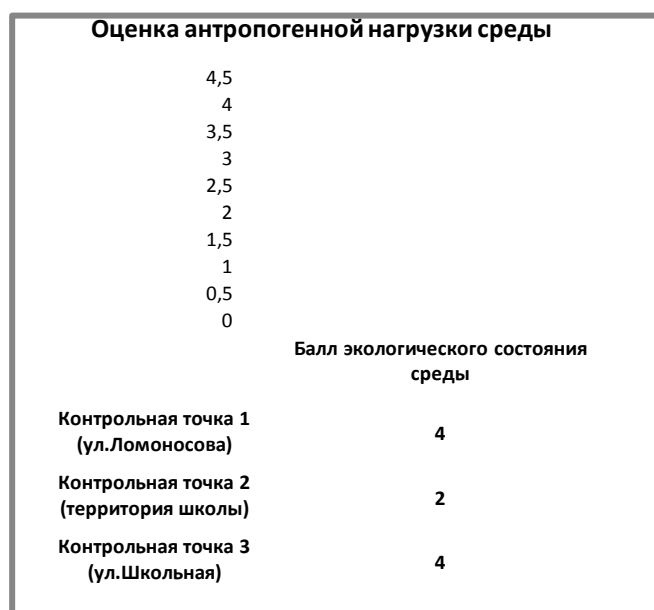
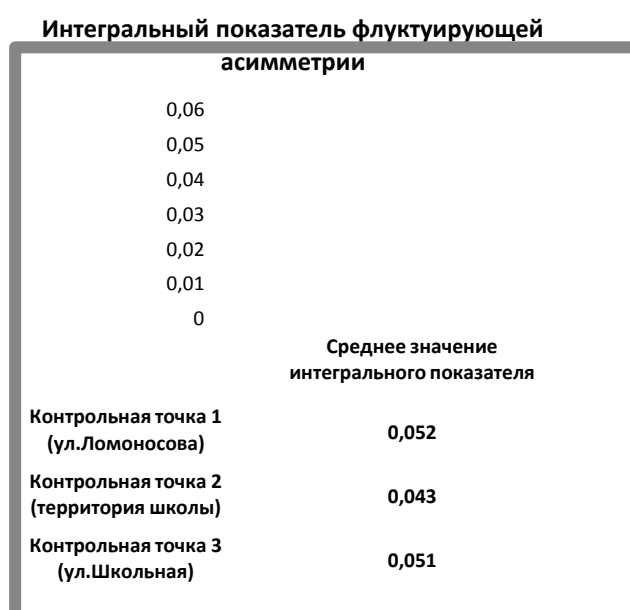
**Таблица 7**

**Расчет интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке,  
с. Староюрьево, территория школы**

№	Значение признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1.	0,043	0,012	0,333	0,043	0,06	0,098

2.	0,022	0,026	0	0,034	0,034	0,023
3.	0,032	0,013	0	0,037	0,029	0,022
4.	0,018	0,012	0	0,04	0,041	0,022
5.	0	0,028	0,142	0,03	0,056	0,051
6.	0,016	0,023	0,142	0,083	0,01	0,055
7.	0,018	0,024	0,076	0,076	0,019	0,043
8.	0	0,013	0	0,058	0,022	0,018
9.	0,04	0,013	0	0,04	0,019	0,022
10.	0,018	0,03	0,25	0	0,009	0,061
...						
100	0	0,011	0	0,047	0,009	0,013
<b>Среднее значение</b>						<b>0,043</b>

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7**  
**Диаграмма 1-2**



**ПРИЛОЖЕНИЕ 8**

**Определение степени разложения клетчатки листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.)**



**Фото 11-13. Подготовка навесок сухого и влажного опада**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 9

### Оценка результатов деятельности почвенной активности



Фото 14. Капроновые мешочки с листовым опадом, извлеченные из почвы



Фото 15. Извлечение навесок из мешочков



Фото16-17. Результаты разложения сухого опада



Фото18-19. Результаты разложения влажного опада

## ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Таблица 8

### Шкала оценки деятельности почвенных деструкторов

Интенсивность разложения клетчатки	Показатель
Очень слабая	Менее 10%
Слабая	10-30%
Средняя	31-50%
Сильная	51-80%
Очень сильная	Более 80%

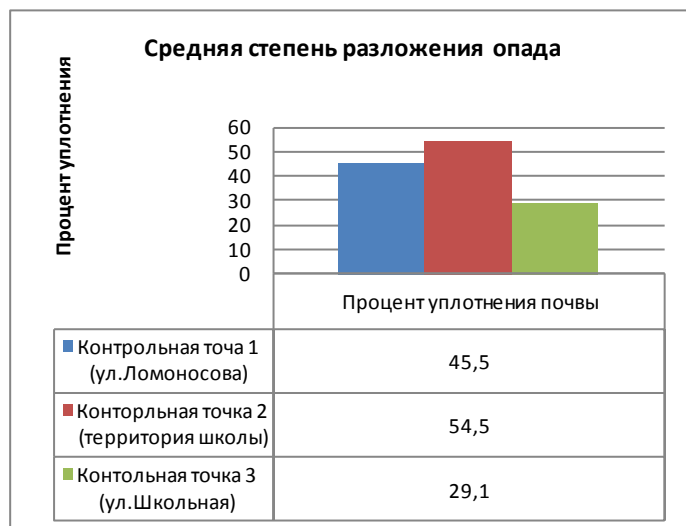
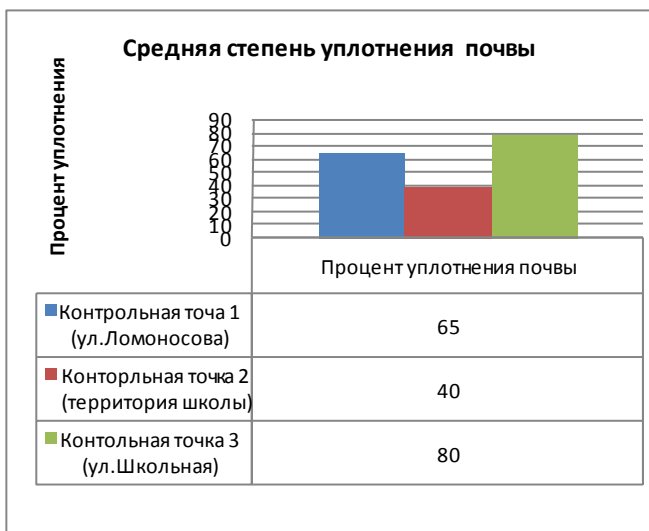
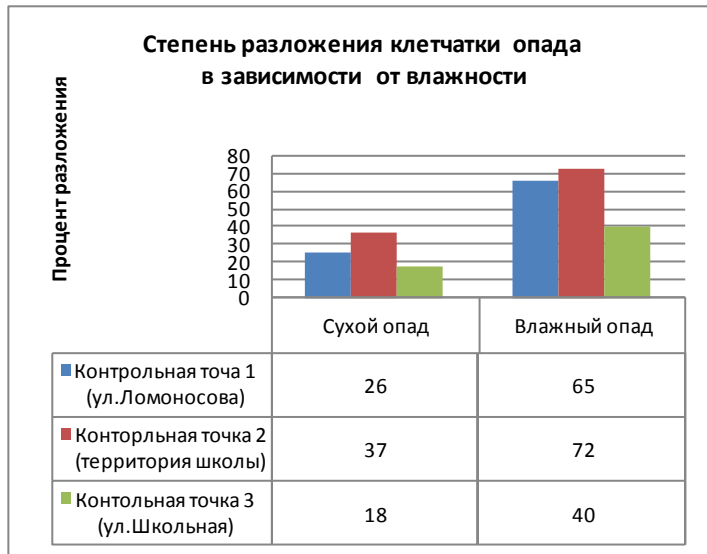
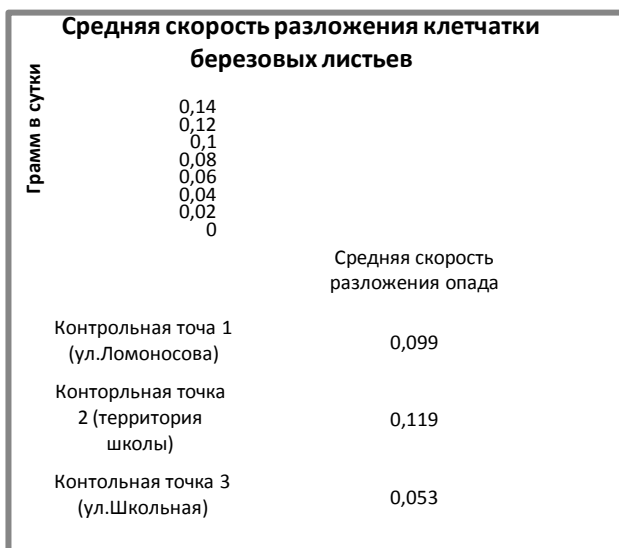
## ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Таблица 9

### Показатели активности почвенных деструкторов

№	Контрольная точка	Масса навески $m_1$ , г	Масса сухого остатка $m_2$ , г		Средняя скорость разложения опада, г/сутки	Плотность почвы, %	Степень разложения опада, %		
			сухой опад	влажный опад			сухой опад	влажный опад	средний показатель
1.	Контрольная точка 1 (ул.Ломоносова)	40,0	29,6	14,0	0,099	65	26	65	45,5
2.	Контрольная точка 2 (территория школы)	40,0	25,2	11,2	0,119	40	37	72	54,5
3.	Контрольная точка 3 (ул.Школьная)	40,0	32,0	28,4	0,053	80	18	40,2	29,1

**ПРИЛОЖЕНИЕ 12**  
**Диаграмма 3-6**



**ПРИЛОЖЕНИЕ 13**

**Следы пыли на листьях берёзы, зафиксированные с помощью клейкой ленты**



**Фото 20. Контрольная точка 1 (ул.Ломоносова)**



**Фото 21. Контрольная точка 2 (территория школа)**



**Фото 22. Контрольная точка 3 (ул.Школьная)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 14**

**Таблица10**

**Результаты оценки запыленности среды по листьям берёзы повислой**

Контрольные точки	Масса пыли на фильтре m, мг	Масса вырезанных проекций листьев m <sub>1</sub> , мг	Масса бумаги 10x10 см, m <sub>2</sub> , мг	Количество обмытых листьев P	Площадь поверхностей листьев S, см <sup>2</sup>	Количество пыли на 1 м <sup>2</sup> , мг	Скорость осаждения пыли, мг/сутки
1 (ул.Ломоносова)	485	583	32	10	729	6653	415,8
2 (территория школы)	196	597	32	10	746	2627	164,2
3 (ул.Школьная)	415	511	32	10	639	6495	405,9

**ПРИЛОЖЕНИЕ 15**

**Диаграмма 7**

