

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Экологии и Географии  
Кафедра Экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Верховец  
подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**05.03.06 Экология и природопользование**  
**05.03.06.01 Экология**

**Флуктуирующая асимметрия тополя бальзамического (*Populus balsamifera*  
*L.*), как показатель загрязнения атмосферного воздуха правобережных  
районов г. Красноярска**

Руководитель	_____	<u>д.б.н. проф.</u>	<u>Е.Я. Мучкина</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В.А. Кулагина</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>Г.С. Шевченко</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Флуктуирующая асимметрия как метод биоиндикации.....	5
1.1. Биоиндикация.....	5
1.2 Флуктуирующая асимметрия.....	8
1.3 Характеристика экологических условий г. Красноярска.....	11
2. Материалы и методы исследования.....	16
2.1 Характеристика тополя бальзамического ( <i>Populus balsamifera</i> L.).....	16
2.2. Методы исследования.....	19
3. Результаты и их обсуждение.....	24
3.1. Морфометрические показатели листовых пластинок тополя бальзамического.....	24
3.2 Оценка состояния среды обитания тополя бальзамического по интегральному показателю стабильности развития.....	39
Выводы.....	46
Список использованных сокращений.....	47
Список использованных источников.....	48
Приложение А.....	54
Приложение Б.....	55
Приложение В.....	56
Приложение Г.....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающее значение решения проблемы загрязнения воздуха, почвенного покрова и водных объектов обуславливает необходимость поиска и разработки доступных методов контроля оценки и состояния компонентов биоты в городской среде. Антропогенная нагрузка на экосистемы определяется комплексом факторов, которые имеют прямое или косвенное влияние на развитие живых организмов. Ряд работ исследователей состояния древесных растений в урбанизированных условиях содержит информацию о возможности применения морфометрических параметров листовых пластин в качестве метода оценки состояния окружающей среды. [1, 13].

Для проведения оценки флуктуирующей асимметрии используются различные представители древесных растений: берёза повислая (*Betula pendula*), черёмуха обыкновенная (*Prunus radus*), различные виды розоцветных, липы и тополя.

При озеленении городов осуществляют насаждения, частыми представителями которых являются: тополь чёрный (*Populus nigra*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*), вяз приземистый (*Ulmus pumila*) и клён ясенелистный (*Acer negundo*). Очевидно, что в городских условиях по степени влияния промышленных (стационарных) источников загрязнения и транспорта (передвижных) выделяются отдельные участки, которые приурочены к функциональным зонам. Состояние насаждений на каждом участке отражают степень антропогенной нагрузки.

Типичным примером крупного промышленного центра является г. Красноярск, в котором имеется ряд источников промышленного загрязнения атмосферного воздуха и значительное количество автотранспорта, выхлопы которого по объемам и степени загрязнения столь же значительны, как и выбросы от стационарных источников.

В связи с чем, на участке, где отличается интенсивность действий антропогенных факторов, оценка состояния среды проводилась на основе

анализа параметров листовых пластинок тополя бальзамического (*Populus balsamifera*), как типичного представителя зелёных насаждений крупного промышленного центра – г. Красноярск.

Работа была выполнена в период с июня 2016 г. по май 2017 г. на базе кафедры экологии и природопользования Института Экологии и Географии Сибирского Федерального Университета

Цель работы: выявление флуктуирующей асимметрии листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего на правобережной части г. Красноярск, для оценки состояния окружающей среды.

Задачи исследования:

1. Определение параметров билатеральных и одинарных признаков листовых пластинок тополя бальзамического.
2. Проведение сравнительного анализа морфометрических показателей листовых пластинок по районам исследования.
3. Расчёт интегрального показателя стабильности развития организма на основе флуктуирующей асимметрии отдельных морфометрических признаков листовых пластинок тополя бальзамического.
4. Оценка состояния среды изучаемых р-нов правобережья г. Красноярск по интегральному показателю стабильности развития тополя бальзамического.

## **1. Флуктуирующая асимметрия как метод биоиндикации**

### **1.1. Биоиндикация**

В настоящее время при оценке состояния окружающей среды ведущая роль отводится физическим и химическим методам экологического контроля. Их сущность сводится к сравнению загрязнения отдельных компонентов природных комплексов с ПДК или ПДУ. Но данные методы не обеспечивают экологическую безопасность экосистем. Ведь порой экосистемы даже в идеальных случаях контроля часто подвергаются чрезмерным нагрузкам.

Кроме этого, у таких методов имеются следующие недостатки:

- невозможность учета в практической деятельности синергического и антагонистического эффектов поллютантов;
- неразрешимость проблемы оценки влияния на токсичность или иные лимитирующие свойства поллютантов разнообразных природных факторов;
- невозможность получения информации о вторичных эффектах действия поллютантов, вызванных их накоплением и трансформацией в различных звеньях экосистем [18].

Изучение последствий антропогенного воздействия на окружающую среду невозможно без применения приемов биологической индикации, которая дает прямую информацию о реакции организмов на отрицательные факторы. [3].

Биоиндикацией называют метод оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем. Организмы или сообщества организмов, которые чувствительны к определенным факторам среды, могут применяться для их оценки, называются биоиндикаторам [10].

Преимущества методов использующих живые индикаторы:

- Они суммируют все биологически важные данные об окружающей среде и отражают её состояние в целом;

- Нет необходимости в применении дорогостоящих и трудоёмких физических и химических методов для измерения биологических параметров;
- Возможно определить скорость происходящих в природной среде изменений;
- Определение пути и места скопления в экологических системах различного рода загрязнений;
- Они позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы и человека;
- Появляется возможность контролировать действие многих, синтезируемых человеком соединений;
- Помощь в нормировании допустимой нагрузки на экосистемы [18].

Изучая реакцию организмов на тот или иной фактор, всегда надо иметь в виду их взаимодействие, потому что все экологические факторы тесно связаны между собой и часто изменение одного из них влечет за собой и изменение других. Также стоит учитывать то, что каждый экологический фактор (или комплекс взаимодействующих факторов) по-разному действует на живые организмы в разные фазы его онтогенеза [12].

Каждый организм обладает генетически закрепленным физиологическим порогом толерантности (выносливости), в пределах которого тот или иной фактор является для него переносимым [29].

Экологические особенности живых организмов зависят и от возраста и от жизненного состояния. При старении организма изменяются скорость метаболизма, физиологическое состояние тканей, органов, потребность в элементах питания и др. Не маловажную роль играет и генетическая неоднородность популяции [24].

Также не стоит забывать то, что каждый фактор по-разному влияет на разные функции организма, т.е. оптимум для одних процессов может являться пессимумом для других [46].

История биоиндикации охватывает множество временных эпох.

Методы биоиндикации были известны человечеству ещё со времен античности. Она развивалась параллельно с биологической наукой.

Например, в трудах Катона Старшего (234-149 гг. до н. э.) описывается способ выбора участков, пригодных для посева культур бобовых по густоте травостоя до перепашки [19].

Л. Ю. Колумелла (римский писатель и агроном) в I в. до н. э. а – мог судить о свойствах почвы по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам. Он предлагал, для посадок винограда, выбирать участки по тем диким растениям, которые на ней растут [34].

В России в рукописях XV и XVI вв. уже упоминались такие понятия как «лес пашенный» и «лес непашенный».

В трудах М.В. Ломоносова и А.Н. Радищева есть упоминания о растениях - указателях особенностей почв, горных пород, подземных вод [22].

Основоположником биоиндикационного использования растений в России считают А.П.Карпинского. Его работа, посвящённая приуроченности растений к различным горным породам и опубликованная в 1841 г., до сих пор актуальна [25].

В середине XIX века характер распределения растительных сообществ использовался для составления геологических и почвенных карт. (Осоков П. А., Чаянов С. К., Докучаев В.В)

В начале XX в., началось освоение окраин России. особенно интенсивно стали развиваться биоиндикационные исследования. Под биоиндикацией в те годы понимали регистрацию наличия или отсутствия того или иного явления (природного или антропогенного фактора среды) [45].

Учение В.И.Вернадского о биосфере и ноосфере - основа биогеохимического направления в геологии. Изучение химического состава живого вещества и связь его с химизмом окружающей среды положили начало биогеохимическому методу поисков полезных ископаемых и геохимической экологии. Биогеохимические исследования сыграли важную роль в открытии многих месторождений руд [8].

Развитие природоохранной индикации началось сравнительно недавно. В начале 60-х годов XX в. сформировалось понятие рекреационной дигрессии. - изменения природной среды в местах массового отдыха. А в середине 70-х годов стало изучение изменения морфологических параметров травостоя и биопродуктивности пастбищ [30].

В конце XX в. Наблюлось значительное внимание к решению экологических вопросов и «экологизации» всех наук.

В настоящее время установлены и широко используются группы видов-индикаторов различных антропогенных воздействий (эвтрофированию водных объектов, химическому загрязнению почв, рекреационной нагрузке, воздействию на живые организмы радионуклидов приоритетных поллютантов) на биоту [31].

На современном этапе наиболее важные задачи биоиндикации и биомониторинга состоят в разработке теоретических основ и методологии анализа реакции биологических систем на многофакторные воздействия с учетом дифференциальных отличий патогенных агентов, факторов риска, патотропных ситуаций и патологических явлений в зависимости от экологических условий и состояния организмов, популяций и отдельных экосистем [32, 52].

В биоиндикационных исследованиях появились направления, основывающиеся на приоритетном использовании различных групп живых организмов: микроорганизмов, водорослей, растений, животных [13].

## **1.2 Флуктуирующая асимметрия**

На воздействие среды организм в нормальных условиях реагирует посредством сложной физиологической системы буферных гомеостатических механизмов, которые поддерживают оптимальное протекание процессов развития. Под действием неблагоприятных факторов или условий эти механизмы могут быть нарушены, что приведет к изменению гомеостаза



развития. Впоследствии, эти нарушения и изменения отражаются на функционировании всего организма [13].

Стабильность развития организма это способность к развитию без нарушений и ошибок [17].

Практически все изменения и нарушения, происходящие в организме можно оценить по различным параметрам и самыми разными методами.

Наиболее простой и доступный способ оценки стабильности развития организма расчет флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков [5].

Флуктуирующая асимметрия — это один из видов билатеральной асимметрии. Она характеризуется незначительным и статистически незначимым отклонением от нуля разности величин правой и левой частей гомологичного билатерально симметричного признака при нормальном распределении этой разности [39].

Настоящая методика основана на выявлении, учете и сравнительном анализе асимметрии у разных видов живых организмов, по определенным признакам.

Определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур при использовании счетного признака у каждой особи производится путем подсчета числа определенных структур слева и справа [12].

Для оценки состояния наземных экосистем чаще всего используются: древесные растения; массовые виды мелких млекопитающих.

Для характеристики водных экосистем: наиболее обычные, массовые виды рыб; земноводные [13].

В данной работе в качестве растения индикатора используется Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.).

Величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур листьев древесных растений широко используется для оценки уровня

загрязнения окружающей среды, в том числе и предприятиями минерально-сырьевого комплекса [29, 31].

Лучшим вегетативным органом для деревьев считается лист растения. В листьях, при антропогенных воздействиях, происходят морфологические изменения, такие как уменьшение площади листовой пластины, появление асимметрии [9, 24].

По мере накопления токсических веществ при формировании листовой пластины, происходит торможение ростовых процессов, и деформация листа. На деревьях, испытывающих высокую техногенную нагрузку, при окончательном формировании листовых пластин их площади меньше, чем на деревьях, произрастающих в более благоприятных экологических условиях. Метод флуктуирующей асимметрии был выбран, чтобы оценить состояние объекта биоиндикации [10].

Случайные незначительные отклонения от симметричного состояния билатеральных морфологических структур, обусловленные стохастичностью молекулярных процессов, лежащих в основе экспрессии генов (онтогенетическим шумом) представляют собой флуктуирующую асимметрию. При действии любых стрессовых факторов среды, которые приводят к усилению онтогенетического шума, нарушению стабильности морфогенеза листа, и как следствие, увеличению его асимметрии величина флуктуирующей асимметрии возрастает [11].

Для некоторых видов организмов разработаны шкалы, которые помогают оценить степень отклонений морфометрических параметров от нормы. К настоящему времени такие балльные системы оценок ученые разработали для ряда видов растений, рыб, земноводных и млекопитающих. для практики. Этот подход очень полезен для оценки последствий антропогенных воздействий и для фонового мониторинга в естественных условиях [26]. Благодаря этому Министерство природных ресурсов Российской Федерации рекомендовало широко использовать этот метод при проведении оценки качества среды, ее благоприятности для человека в целом ряде ситуаций [54]. А именно, для:

- определения состояния природных ресурсов;
- разработки стратегии рационального использования региона;
- определения предельно допустимых нагрузок для любого региона;
- выявления зон экологического бедствия;
- проведения работ по оценке воздействия на окружающую среду и при перепрофилировании предприятий;
- оценки эффективности природоохранных мероприятий;
- создания особо охраняемых природных территорий [21].

### **1.3 Характеристика экологических условий г. Красноярска.**

Красноярск — крупный культурный и экономический центр Восточной Сибири и административный центр Красноярского края.

Город расположен на обоих берегах реки Енисей, которая является границей между Западносибирской равниной и Среднесибирским плоскогорьем, в котловине, образованной самыми северными отрогами Восточного Саяна.

Координаты г.: 56°01' с. ш. 93°04' в. д. Площадь - 385,8 м<sup>2</sup>, длина - 35 км, ширина - 25 км.

Климат резко-континентальный со значительными изменениями температуры дня и ночи, зимы и лета потому, что город расположен в умеренном климатическом поясе, в центре Евразийского континента, потому [50].

Среднегодовая температура воздуха составляет около +2 °С. Переход через ноль происходит обычно 22 апреля и 2 октября. Среднегодовое количество осадков составляет около 500 мм в год. Летом выпадает наибольшее в году количество осадков [49]

До строительства красноярской ГЭС, средняя температура зимы в городе была -35 градусов. Близость Красноярского водохранилища смягчила климат. И на данный момент средняя температура воздуха в январе колеблется от -20 до –

16°C. Июль в городе – месяц с самыми высокими температурами, и средняя температура воздуха составляет +19°C.

Наблюдается абсолютное преобладание юго-западных ветров для территории Красноярска [6].

Зима характеризуется высокой влажностью и начинается в середине октября и заканчивается в последних числах апреля. Влажное и теплое лето начинается в начале июня и продолжается до 20 августа [54].

В среднем, по городу, слой снега не превышает толщины 31 см. Распределение снежного покрова в сильной степени зависит от рельефа. На наветренных склонах гор и на перевалах наблюдается очень высокий снежный покров, иногда его высота может достигать нескольких метров [6].

Характер растительного покрова г. Красноярска обусловлен местонахождением его территории близ границы лесостепной и таёжной природных зон и антропогенным воздействием [7].

В соответствии с геоботаническим районированием юга Красноярского края левобережная территория г. граничит с Красноярским лесостепным районом, а правобережье - с отрогами Восточного Саяна.

Растительные сообщества представлены сосной обыкновенной, елью сибирской, сосной сибирской, берёзой и осинкой. В городской черте в большом количестве произрастают вяз приземистый, тополь чёрный и бальзамический, клён ясенелистный и множество разных декоративных растений [20, 35].

Красноярск – развитый центр промышленности. Ведущие отрасли – цветная металлургия, машиностроение и металлообработка, деревообработка и химическая промышленность [33].

На территории города расположены свыше 17 тысяч учреждений, предприятий, организаций. Ведущие позиции тут занимают цветная металлургия, деревообработка, машиностроение, транспорт, химическая и пищевая промышленности [23].

Объем продукции распределяется следующим образом:

- металлургическое производство - 48%;

- производство машин, транспортных средств, оборудования, электрооборудования, оптического и электронного оборудования —20%;

- пищевая промышленность и напитки - 11%.

Красноярск — крупный железнодорожный узел. Через него проходят Транссибирская магистраль, трассы Ачинск-Абакан, Абакан-Тайшет и др.

По Енисею грузовые и пассажирские суда ходят до Дудинки, Дивногорска, Игарки.

В черте г. Красноярска расположены 2 аэропорта:

- Емельяново — российские и международные рейсы (который расположен на правом берегу);

- Черемшанка — в основном обслуживает местные авиалинии [48].

Главные заводы Красноярска созданы в послевоенные годы и во время Великой Отечественной войны. В те же годы построен мост через Енисей, а в 60-е годы – аэропорт и гидроэлектростанция [47].

Предприятия правого берега г. Красноярска:

- Химико-металлургический завод (ул. Матросова, 30)
- ООО "Красноярский цемент" (ул. Краснопресненская, 1)
- Красноярский машиностроительный завод КрасМаш (пр-кт им. газеты Красноярский рабочий, 29)
- Красноярский комбикормовый завод (ул. Энергетиков, 73а)
- ОАО "Красноярский завод цветных металлов имени В.Н. Гулидова" (пр-д Транспортный, 1)
- Красноярский завод резинотехнических изделий (ул. Томская, 4)
- Красноярский деревообрабатывающий комбинат (ул. Свердловская, 101а)
- Красноярская мебельная компания (ул. пос. Лалетино, 5 к.3)
- ООО "Комбинат "Волна" (ул. Мусоргского, 15)
- ОАО "Красноярский завод синтетического каучука" (пер. Каучуковый, 6)
- ОАО "Красноярская судостроительная верфь" (ул. Складская, д. 24)
- ОАО «КЗХ «Бирюса».(Красноярский рабочий, 29)

- ФГУП «Германий» (Траспортный проезд, 1)
- ОАО «Красфарма» (ул. 60 лет Октября, 2)
- ОАО «Красноярский биохимзавод» (ул. Рейдовая, 68а)

Также на территории правого берега расположены ТЭЦ-1, ТЭУ-2, ТЭЦ-4.

В крупных промышленных городах, таких как Красноярск, под воздействием различных антропогенных факторов, формируется особенный микроклимат. Из-за размещения на территории Красноярска множества промышленных предприятий и из-за большого количества автотранспорта загрязнение приземных слоёв атмосферы для города стало обычным явлением.

Ветер спасает городские экосистемы от застоя и концентрации ЗВ в приземных слоях атмосферы. Он увеличивает скорость рассеяния и перемешивания и выносит загрязнения из тропосферы. Но когда атмосферные слои становятся очень стабильными, загрязнения, вместо того чтобы перемещаться в верхние слои атмосферы, остаются вблизи поверхности земли. Это явление называется инверсией [33].

Инверсия – смещение охлажденных слоев воздуха вниз и скопление их под теплыми слоями воздуха, что ведет к снижению рассеивания загрязняющих веществ и увеличению их концентраций в приземной части атмосферы [27].

Если температура повышается непосредственно от поверхности земли, инверсия приземная, если же с не которой высоты над поверхностью земли, то — приподнятая. При наличии инверсионного слоя на некоторой высоте в атмосфере присутствует на 60 % больше загрязняющих веществ, чем при его отсутствии. Таким образом, над городом возникает запирающий слой воздуха, препятствующий рассеиванию загрязняющих веществ (ЗВ) [33].

На территории г. Красноярска температурные инверсии наблюдаются в течение всего года. Большинство инверсий наблюдается зимой. В среднем за год без инверсий лишь 25% дней [2].

Влияние туманов и осадков имеет не последнее место в нарушении переноса загрязняющих веществ. При возникновении туманов увеличивается опасность загрязнения атмосферного воздуха.

Зимой незамерзающий Енисей создаёт туман, который в совокупности с инверсией создает неблагоприятные для рассеивания вредных веществ условия. Капли тумана сорбируют из воздуха частицы загрязняющих веществ и образуется "смертоносный коктейль" вдыхание, которого очень опасно для здоровья и даже для жизни [7].

Дополнительно ко всем проблемам в крупных промышленных городах (г. Красноярск входит в их число) лето оказывается гораздо более жарким. В критических ситуациях температура воздуха может подниматься до 40°C. Это происходит из-за того, что над городом формируется остров тепла. При таком явлении создается неблагоприятная ситуация, характеризующаяся штилем в нижнем слое воздуха и опасной скоростью на высоте выбросов. Вместе с этим усиливается порывистость ветра, турбулентный обмен и поступление примесей сверху к земной поверхности [28].

Экологическая ситуация в городе оставляет желать лучшего. Из-за постоянных инверсий и формирования островов тепла атмосферный воздух содержит большое количество ЗВ, от которых нет спасения ни зимой, ни летом. Не стоит забывать и про фотохимический смог, который формируется над городом в солнечные летние дни. И лишь благодаря сильному ветру и дождям происходит естественное очищение воздушных масс. Но поллютанты лишь переходят из воздушной среды в почвенный покров, в поверхностные и подземные воды. В итоге загрязняются все компоненты окружающей среды и происходит деградация растительного покрова, сокращение животного мира и ухудшение здоровья населения.

## 2. Материалы и методы исследования

Объект исследования – тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.).

Предмет исследования – морфометрические показатели листовых пластинок.

### 2.1 Характеристика тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.).

Среди древесных насаждений в урбанизированной среде часто встречается тополь бальзамический, активно применяемый для озеленения территории.

В пределах г. Красноярска тополь бальзамический произрастает во всех районах и может служить объектом изучения для целей сравнения условий среды.

Домен: *Eukaryota* (Эукариоты)

Царство: *Plantae* (Растения)

Отдел: *Magnoliophyta* (Цветковые)

Класс: *Magnoliopsida* (Двудольные)

Порядок: *Malpighiales* (Мальпигиецветные)

Семейство: *Salicaceae* (Ивовые)

Род: *Populus* (Тополь)

Вид: *Populus balsamifera* L. (Тополь бальзамический) [15].

Род *Populus* имеет повсеместное распространение на территории всего Северного полушария, как в умеренной зоне, так и субтропической. Представители рода *Populus* в Америке встречаются от Аляски до Северной Мексики. А также разные виды этого рода произрастают в Европе, Гималаях, Китае и Японии [42].



Историческая родина тополя бальзамического Северная Америка, там разные представители рода тополей образуют, совместно с другими породами хвойных и лиственных деревьев, целые леса. Тополь встречается в прериях и вдоль рек северо-запада Канады и является одним из самых крупных деревьев американской Субарктики [14]. В диком виде в России встречается на востоке Чукотки (реки Песцовая, Чегитунь), в виде маленьких кустарничков. Внесен в Красную Книгу Чукотки [16].

Тополя являются важными видами, используемыми для образования защитных насаждений и в других озеленительных целях. Они часто используются как одна из главных пород в ветрозащитных полосах на равнинах Северной Америки. Деревья часто высаживают в сочетании с одиночными деревьями близких генотипов [44].

У тополя бальзамического мощная корневая система. Деревья растут быстро (до 1,5 м за сезон, в течение 40—60 лет), особенно на свежих и влажных аллювиальных почвах долин. Может расти и на других почвах. Вид довольно газоустойчив и весьма морозостоек, светолюбив (но может выносить полутень), хорошо выносит сухость воздуха и почвенное засоление, не страдает от ветровала [4].

Как быстрорастущая порода, тополь, широко используется в плантационном выращивании во многих странах мира. По мнению И.С. Мелехова выращивание тополя с целью получения древесины перспективно лишь на юге [20].

Некоторые виды живут до 120—150 лет, но растения рано поражаются различными грибковыми заболеваниями.

Деревья имеют высоту до 30 м, диаметр ствола до 4—5 м. Крона раскидистая, широко-яйцевидная. Кора серая, гладкая; у старых деревьев тёмно-серая, трещиноватая внизу ствола. Побеги бурые, голые цилиндрические или слегка угловатые [40].

Почки крупные, яйцевидно-конические, длиной 12-15 мм (конечные — 18-23 мм), клейкие, ароматные, зеленоватые. Боковые почки конусовидные,

несколько отклонённые вбок, прижатые, очень клейкие, липкие и ароматичные. Древесина зеленоватая, сердцевина рыхлая, желтоватая.

Листовой рубец сравнительно крупный, с 3 хорошо заметными листовыми следами. Средняя длина листьев 5—12 см, средняя ширина 2,5—7,5 см. Форма листовых пластин яйцевидно-ланцетная, яйцевидная или эллиптическая (при основании закруглённая, постепенно к верхушке суженная). Края мелкопильчато-зубчатые. Молодые листья клейкие, опушённые и очень ароматные, позже голые и гладкие, сверху блестящие, тёмно-зелёные, снизу беловатые. Черешки цилиндрические, длинные, в период роста листовых пластин опушённые, затем голые.

Большинство тополей начинают цвести в возрасте 10 - 15 лет.

Соцветия в виде сережек образуются в начале весны, в апреле, мае, перед распусканием вегетативных почек. Длина мужских и женских соцветий до 10-15 см [38].

Женские цветки имеют от двух до четырех у-образных пестиков, а мужские – 30-80 тычинок, рыльца светло-красные. Каждая сережка имеет несколько десятков одноклеточных капсул, в которых содержится от 10 до 30 семян. Прицветники гладкие, округлые, бахромчатые [36].

Оплодотворение происходит через несколько дней и завершается в течение двух недель после опыления. Развитие семян происходит быстро, и к середине лета до полного развития листьев происходит их рассеивание [37].

Плод — двустворчатая коробочка длиной 6-9 мм, почти овальная или яйцевидная, заострённая, светло-бурого цвета. Плодоношение в июне—июле.

Длинные волоски, на семенах, способствуют их переносу ветром на значительные расстояния, что определяет высокий уровень миграции [40].

Жизнеспособность семян тополя в природных условиях низкая - от двух до четырех недель.

При поддержании низкой температуры (от -18°C до 5 °C) и постоянной влажности (5-8%) время их хранения можно продлить до 140 дней.

Семена тополя прорастают или погибают в течение нескольких дней.

Прорастание - надземное. Для прорастания требуется благоприятная среда: мягкая минеральная почва, свет и постоянная влажность. [41]

## 2.2. Методы исследования

В городе Красноярске для учёта параметра листовых пластинок тополя бальзамического были выделены четыре участка (таб.1). Местоположение, которых отображено на рисунке 1.



Рисунок 1 - Карта – схема отображающая местоположение исследуемых участков:

- 1 – Микрорайон Черемушки
- 2 – Район ул. Вавилова
- 3 – Набережная р. Енисей
- 4 – Район цементного завода

В документе, рекомендованном Министерством, приведены списки видов растений и животных, с помощью которых можно проводить оценки качества среды во всех географических зонах на территории России, за исключением зоны тундр, полупустынь, пустынь и высокогорья [51].

Таблица 1 – Характеристика участков исследования тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) на правобережной части г. Красноярск, 2016 г.

Участок	Градэкологические условия и местоположение	Стационарные источники	Наличие транспортных путей.
Микрорайон Черемушки	Селитебная зона. Плановое расположение жилых зданий, территория школы (древесные насаждения) внутри крупного квартала на ул. Шевченко. Юго-восточная часть правобережья г. Красноярск, Ленинский район.	-	-
Район улицы Вавилова	Селитебная зона. Аллея внутри жилой застройки в районе ул. Вавилова, Кировский район.	-	Граничит с ул. Вавилова и проспектом имени газеты Красноярский рабочий
Набережная р. Енисей	Рекреационная зона граничит с рекой и не плотной застройкой. Набережная р. Енисей в районе Абаканской протоки, Свердловский р-н.	-	-
Район цементного завода	Промышленная зона. Территория прилегающая к защитной зоне цементного завода. 1000м от стационарного источника загрязнения, Свердловский р-н.	ТЭЦ – 2, цементный завод, шиферная фабрика	Подъездные пути к промышленным предприятиям.

В работе для оценки качества среды территории использовалось древесное растение – Тополь бальзамический. Проведение исследования основывалось на Методике, утвержденной распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р [20].

Сбор материала был проведен после остановки роста листьев (в августе 2016 г.). Листья были собраны из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток равномерно вокруг дерева [13].

Все листья, собранные для одной выборки, были сложены в полиэтиленовый пакет с этикеткой, в которой указаны номер выборки, место сбора (делая максимально подробную привязку к местности), дата сбора [14].

Специальной обработки и подготовки материал не требовал, так как был отсканирован сразу после сбора. Для непродолжительного хранения собранный материал хранился в полиэтиленовом пакете на нижней полке холодильника [20].

Каждая выборка включает в себя 100 листьев: по 10 листьев с 10 растений. Всего 400 листьев.

Для определения морфометрических параметров каждый отсканированный лист был обработан в программе ImageJ. В этой программе для каждого листа было измерено пять стандартных морфометрических признака (с левой и с правой стороны листа): (рисунок 1.):

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

Все измерения проводятся в миллиметрах и градусах [12].

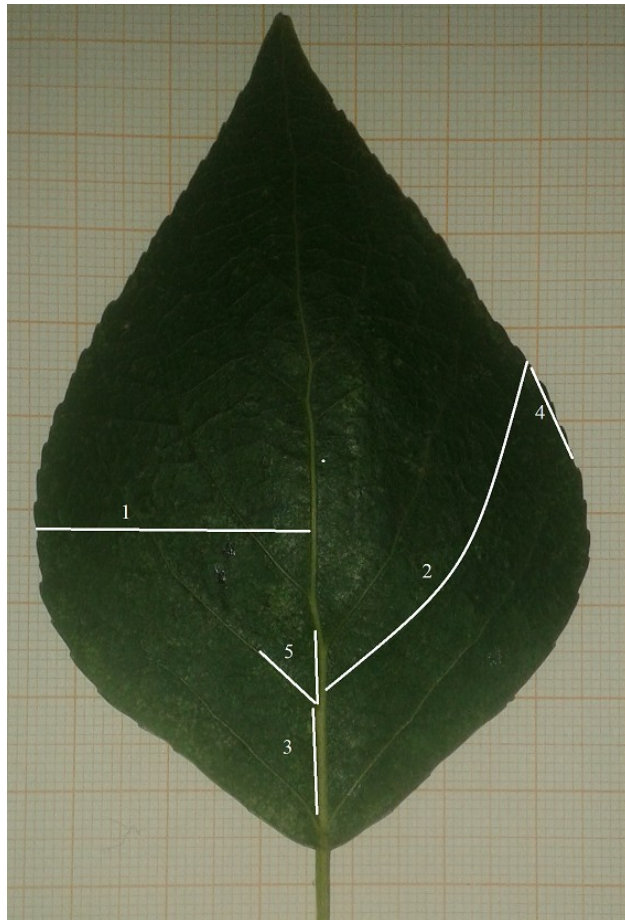


Рисунок 2 - Схематичное изображение листовых пластин с указанием измеряемых морфометрических билатеральных признаков в соответствии с рекомендацией Захарова и др. [13]

Помимо основных морфометрических признаков также в программе ImageJ были определены другие признаки:

- Длина центральной жилки
- Площадь половинок листа [1]
- Длина черешка
- Угол кончика листа

Все собранные данные были оформлены в виде таблицы Excel, для дальнейшей обработки.

Для каждого измеренного параметра были рассчитаны максимальное, минимальное, среднее значение и ошибка.

Величина флуктуирующей асимметрии рассчитывалась по Захарову. Расчет показателя асимметрии листовых пластин происходил по формуле 1:

$$\frac{|L - R|}{|L + R|} \quad (1)$$

где L – значение морфометрического признака с левой стороны листовой пластины, а R – значение морфометрического признака с правой стороны листовой пластины [13].

Сначала была рассчитана величина асимметрии по всем признакам для каждого листа. После была рассчитана флуктуирующая асимметрия для каждого признака (формула 2).

$$\Phi A = \sum \left( \frac{|Li - Ri|}{|Li + Ri|} \right) / n \quad (2)$$

где n – количество листовых пластин.

Интегральный показатель стабильности развития (ИПСР), рассчитывался как арифметическое среднее  $\Phi A$  по признакам.

### **3. Результаты и их обсуждение**

В урбанизированной среде, где имеется большое количество стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха создаются условия, при которых стабильность развития организма имеет нарушения, что проявляется и в ряде внешних признаков. Например, у древесных растений происходит нарушение симметрии в развитии листовых пластинок, степень которых может быть оценена по различию билатеральных признаков [1], [13].

#### **3.1. Морфометрические показатели листовых пластинок тополя бальзамического**

Результаты анализа листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего в различных участках правобережья г. Красноярска показали неравномерное развитие билатеральных и одинарных морфометрических признаков.

Данные по средним значениям таких показателей как ширина половины листовых пластинок, длина второй жилки второго порядка, расстояние между основаниями первой и второй жилками второго порядка, расстояние между концами первой и второй жилками второго порядка и угол между жилкой первого порядка и второй жилкой второго порядка представлены в ПРИЛОЖЕНИИ А

Средняя ширина половинок листа (рисунок 3) составляла от  $28,54 \pm 0,43$  мм (район ул. Вавилова) до  $30,30 \pm 0,48$  мм (микрорайон Черёмушки) в левой половине листа. В правой половине листа этот показатель изменяется от  $28,54 \pm 0,42$  (район ул. Вавилова) до  $30,05 \pm 0,44$  мм (микрорайон Черёмушки).

В районе цементного завода средняя ширина половинки листа составила  $29,07 \pm 0,74$  мм в левой половине листа и  $28,94 \pm 0,73$  мм – в правой. На



набережной р. Енисей значение этого признака было  $30,13 \pm 0,61$  мм на левой стороне листа, а на правой -  $29,69 \pm 0,68$  мм.

Также при изучении максимальных и минимальных значений ширины половин листовой пластинки было отмечено, что в микрорайоне Черёмушки этот показатель изменялся от 20,4 мм до 42,6 мм на левой стороне листа, а на правой – от 19,2 мм до 41,6 мм. На набережной р. Енисей ширина половинок листа варьировалась: на левой стороне – от 17,3 мм до 48,2 мм; на правой – от 16,3 мм до 53,8 мм. В районе ул. Вавилова данный признак имел следующие минимальные и максимальные значения: на правой стороне листа – 17,1 мм, 37,1 мм; на левой – 15,9 мм и 39,2 мм соответственно. В районе цементного завода минимальная ширина левой половины листа составила 18,1 мм, у правой половины – 19,5 мм, максимальное значение этого параметра на левой стороне – 43,1 мм, а на правой – 42,3 мм.

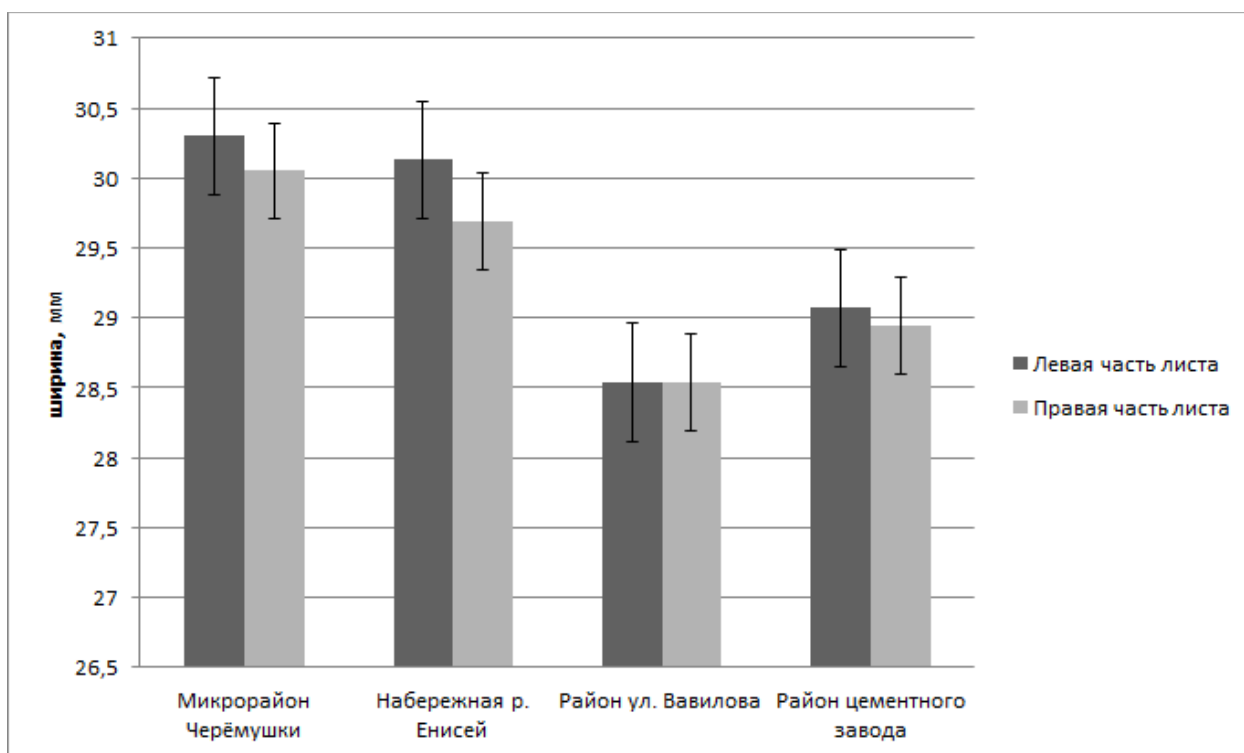


Рисунок 3 - Ширина половины листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярск, 2016 г. (средние значения признака)

При сравнении исследуемых участков по средним значениям ширины половины листа было выявлено, что самую большую величину этого показателя имеют листья, собранные в микрорайоне Черёмушки (левая сторона не на много больше правой). Наименьшее значение ширины половины листа у листьев собранных в районе ул. Вавилова (правая сторона равна левой).

При сравнении исследуемых участков по максимальным и минимальным значениям ширины половины листа просматривается несколько другая ситуация. На набережной р. Енисей отмечены самые большие максимальные значения параметра, как по правой, так и по левой стороне листа. Самые низкие минимальные значения (левой и правой сторон) этого признака отмечены в районе ул. Вавилова.

Средняя длина второй жилки второго порядка левой половины листа (рисунок 4.) изменялась от  $43,98 \pm 0,63$  мм в районе ул. Вавилова до  $46,98 \pm 0,92$  мм на набережной р. Енисей. В районе цементного завода этот параметр на левой стороне листовой пластины составил  $45,62 \pm 1,00$  мм. В микрорайоне Черёмушки средняя величина данного признака с левой стороны равна  $45,90 \pm 0,87$  мм.

Самая большая средняя длина правой второй жилки второго порядка была зарегистрирована на набережной р. Енисей -  $46,59 \pm 1,04$  мм, самая маленькая -  $43,18 \pm 0,66$  мм – в районе ул. Вавилова. В микрорайоне Черёмушки значение этого признака с правой стороны составило  $46,08 \pm 0,69$  мм, а районе цементного района -  $43,85 \pm 0,93$  мм.

При исследовании средних величин длины второй жилки второго порядка было отмечено, что левая сторона листовой пластины преобладала по размеру на всех местах сбора, кроме микрорайона Черёмушки, в котором правая сторона больше на 0,2 мм левой.

При исследовании максимальных и минимальных длин второй жилки второго порядка, было выявлено, что на набережной р. Енисей самые большие максимальные величины этого признака, как на правой (88,6 мм), так и на левой (78,5 мм) сторонах листовых пластин. Наименьшие минимальные значения

данного параметра на левой стороне листа составило 19,8 мм (микрорайон Черёмушки), на правой – 24,1 мм (набережная р. Енисей).

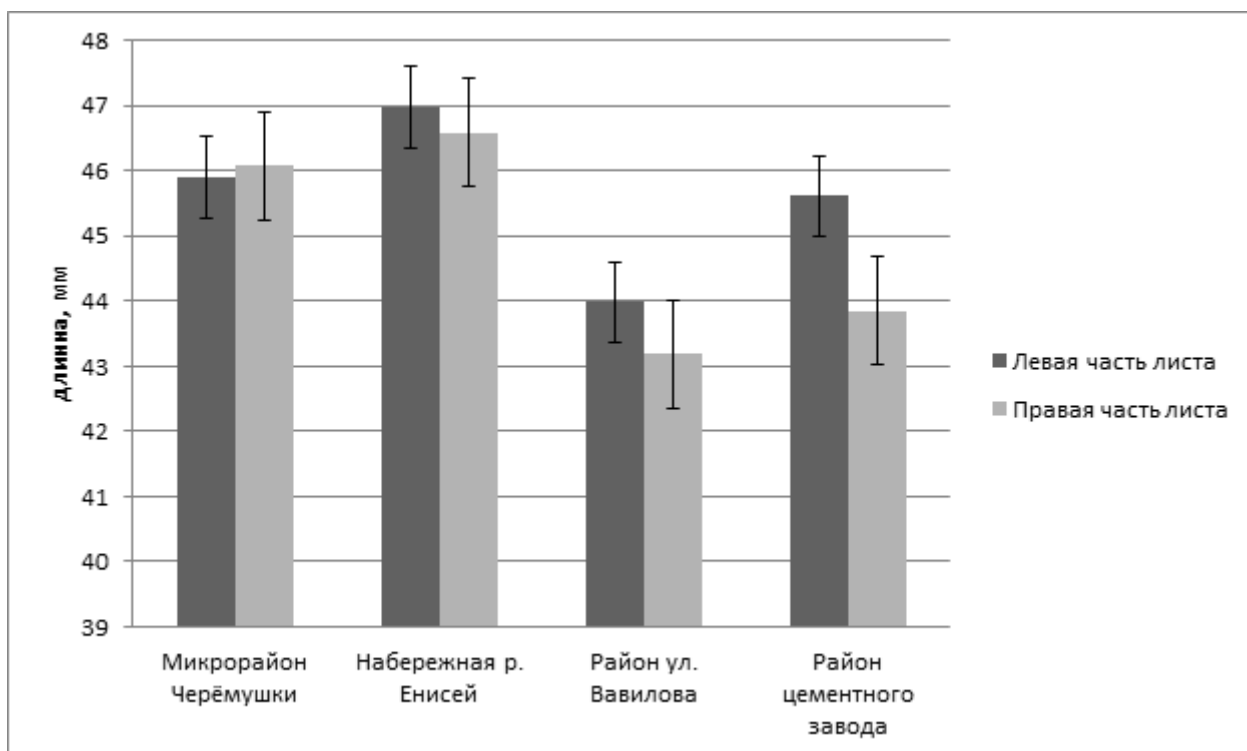


Рисунок 4 - Длина второй жилки второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярск, 2016 г. (средние значения признака)

Максимальная длина второй жилки второго порядка в микрорайоне Черёмушки составила 64,4 мм на правой стороне листа и 63,1 мм – на левой. Минимальное значение этого параметра с правой стороны – 27,5 мм.

Минимальная величина данного признака на набережной р. Енисей с левой стороны листа – 25,5 мм.

В районе цементного завода длина второй жилки второго порядка изменялась от 31,3 мм до 62,7 мм на левой половине листа и от 30,5 мм до 59,6 мм на правой.

Максимальные и минимальные значения этого признака в районе ул. Вавилова на правой стороне листа составили 60,5 мм и 25,6 мм, на левой – 58,0 мм и 24,3 мм, соответственно.

При исследовании такого параметра как расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок (рисунок 5.) было отмечено, что максимальные средние значения этого признака принадлежат району цементного завода:  $18,22 \pm 0,79$  мм на правой половине листа,  $18,12 \pm 0,81$  мм – на левой.

В районе ул. Вавилова было зарегистрированы самые минимальные средние значения этого показателя, которые составили  $13,22 \pm 0,54$  мм (левая сторона листа) и  $14,34 \pm 0,52$  мм (правая сторона листа).

Значения среднего расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка листьев собранных на набережной р. Енисей: на правой половине  $16,12 \pm 0,59$  мм, на левой половине  $16,13 \pm 0,65$  мм.

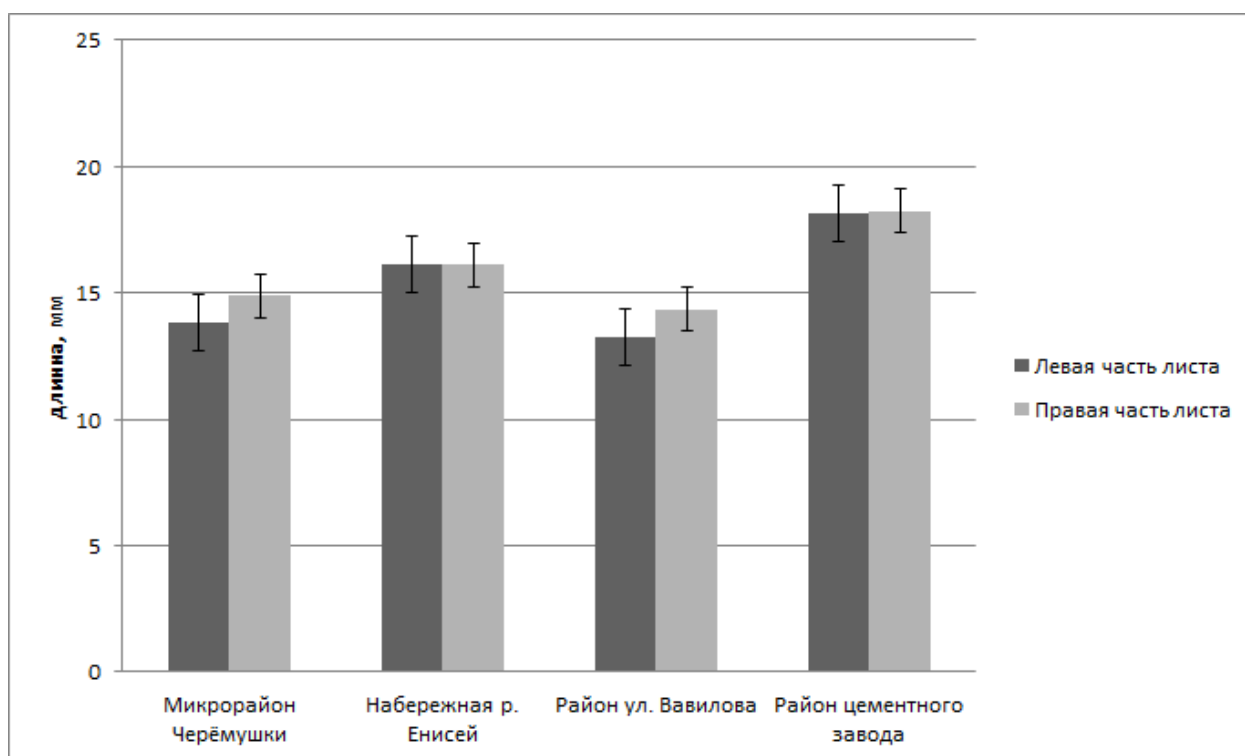


Рисунок 5 - Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярска, 2016 г. (средние значения признака)

В микрорайоне Черёмушки этот показатель составил  $13,83 \pm 0,52$  мм – на левой стороне листовой пластины и  $14,88 \pm 0,53$  мм на правой.

В микрорайоне Черёмушки и в районе ул. Вавилова средние величины такого показателя, как расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка больше с правой стороны листовой пластины. В районе цементного завода левая сторона на доли миллиметра меньше правой, а на набережной р. Енисей левая практически равна правой стороне.

Величина расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка в микрорайоне Черёмушки изменялась от 19,8 мм до 63,1 мм на левой половине листовой пластины и от 27,5 мм до 64,4 мм – на правой.

Максимальные и минимальные значения этого признака на набережной р. Енисей составили с правой стороны листа 37,5 мм и 6,8 мм, с левой 36,2 мм и 3,5 мм, соответственно.

В районе ул. Вавилова данный показатель варьировался от 4,7 мм (левая половина листа) и 3 мм (правая половина листа) до 28,8 мм (слева) и 29,8 мм (справа).

Максимальные величины такого параметра, как расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, в районе цементного завода составили 44,2 мм на левой стороне листовой пластины и 38,1 мм на правой. Минимальное значение данного параметра на левой половине листа – 5,7 мм, на правой – 3,1 мм.

При исследовании максимальных и минимальных величин этого параметра было выявлено, что самые большие максимальные значения и с левой и с правой стороны листа принадлежат листьям, собранным в районе цементного завода. Минимальные размеры интервала между основаниями первой и второй жилок второго порядка зарегистрированы у листьев из микрорайона Черёмушки.

Среднее расстояние между первой и второй жилками второго порядка с края листа имеет максимальную величину у листьев собранных на набережной р. Енисей и составляет  $16,76 \pm 0,47$  (левая сторона листа) мм и  $18,18 \pm 0,52$  мм

(правая сторона листа). Минимальные значения этого параметра зарегистрированы у листьев собранных в районе ул. Вавилова:  $15,44 \pm 0,39$  мм (левая половина) и  $16,34 \pm 0,39$  мм (правая половина).

В микрорайоне Черёмушки средняя величина такого признака, как расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, с левой стороны листовых пластинок составила  $15,96 \pm 0,54$  мм, с правой стороны -  $17,64 \pm 0,50$  мм.

В районе цементного завода средняя величина данного показателя составила  $15,94 \pm 0,49$  мм на левой стороне листьев и  $16,71 \pm 0,52$  мм на правой стороне.

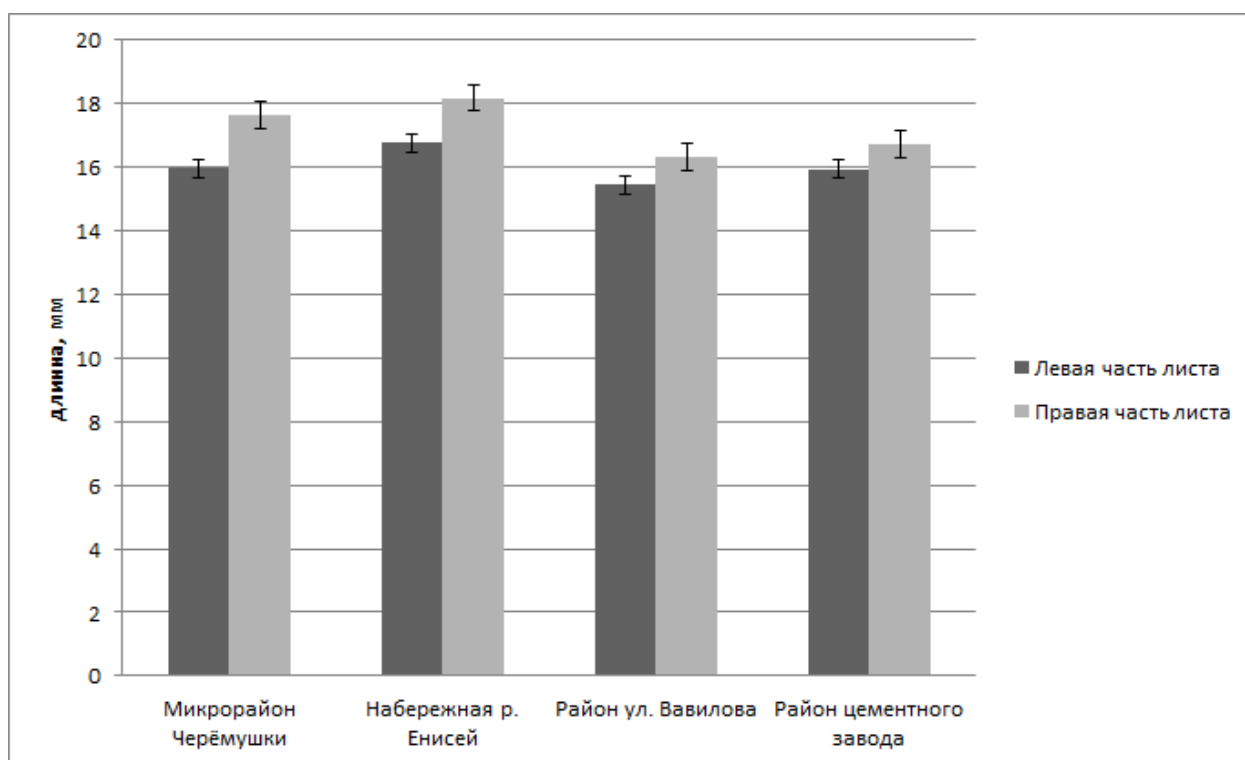


Рисунок 6 - Расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярска, 2016 г. (средние значения признака)

При исследовании средних значений расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок было отмечено, что правая сторона больше левой во всех пунктах сбора проб.

Изучение максимальных и минимальных значений расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка указало на то, что самые большие величины данного признака принадлежат листьям тополей в микрорайоне Черёмушки. На левой стороне листовой пластины это расстояние составило 41,8 мм, а на правой 38,6 мм, при минимальных значениях 8,6 мм (слева) и 8,1 мм (справа).

Наименьшее расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка зарегистрировано на набережной р. Енисей (6,7 мм с левой стороны листа и 7,6 мм с правой стороны). А максимальные значения этого параметра на данном участке 33,9 мм на левой и 34,5 мм – на правой стороне половине листовой пластины.

В районе ул. Вавилова расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка изменялось от 9,2 мм до 26,4 мм на левой стороне листа и от 8,9 мм до 29,3 мм на правой.

Максимальные значения данного параметра в районе цементного завода составили 35,6 мм на правой стороне листа и 25,8 мм на левой. Минимальные расстояния – 9,2 мм (правая половина) и 7,4 мм (левая половина).

Анализ билатерального признака «угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка» (рисунок 7) показал, что наибольшие средние значения данного параметра зарегистрированы в районе ул. Вавилова на правой стороне листовой пластины ( $48,09 \pm 0,7^\circ$ ) и в микрорайоне Черёмушки на левой ( $47,65 \pm 0,71^\circ$ ). Минимальные величины отмечены на набережной р. Енисей:  $44,49 \pm 0,67^\circ$  с левой стороны листа,  $44,73 \pm 0,87^\circ$  – с правой стороны.

Средняя величина угла между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического в микрорайоне Черёмушки с правой стороны -  $47,93 \pm 0,68^\circ$ . Минимальные значения по данному признаку на этом участке составили  $30,8^\circ$  (слева) и  $32,8^\circ$  (справа).

Максимальные значения на правой половине листовых пластинок составили  $64,1^\circ$  и  $64,5^\circ$  на левой.

Значения средней величины угла между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка листьев собранных в районе ул. Вавилова: на левой половине листа  $46,98 \pm 0,61^\circ$ . Максимальные и минимальные значения этого признака в районе ул. Вавилова составили с правой стороны листа  $66,8^\circ$  и  $31,3^\circ$ , с левой  $67,3^\circ$  и  $31,13^\circ$ , соответственно.

На набережной р. Енисей средние значение данного параметра было  $44,49 \pm 0,67^\circ$  на левой стороне листа, а на правой -  $44,73 \pm 0,87^\circ$ .

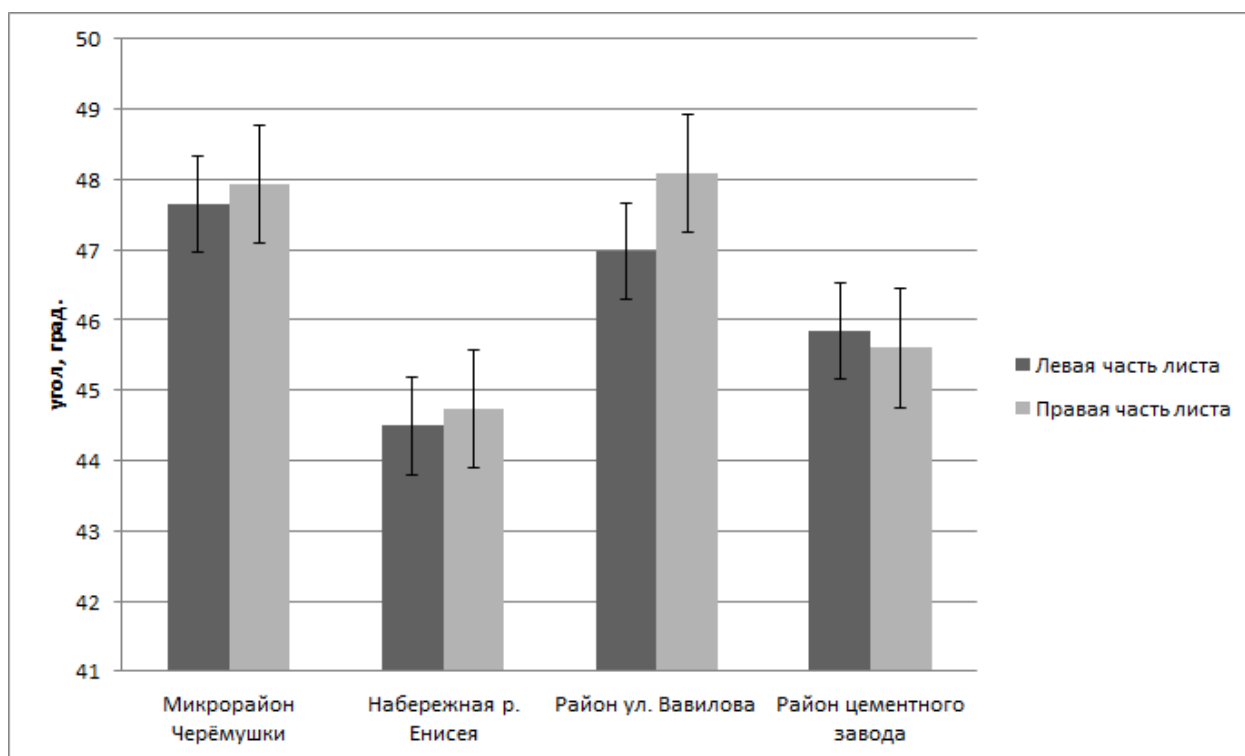


Рисунок 7 - Угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего г. Красноярска, 2016 г. (средние значения признака)

Угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка листовых пластинок тополя бальзамического на данном участке изменялся от  $64,9^\circ$  до  $20,30^\circ$  на левой половине листа и от  $61,1^\circ$  до  $15,1^\circ$  на правой.



В районе цементного завода средняя величина угла между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка составила  $45,84 \pm 0,82^\circ$  в левой половине листа и  $45,6 \pm 0,92^\circ$  – в правой. Величина этого признака на данном участке изменялась от  $29^\circ$  до  $62,8^\circ$  на левой половине листа и от  $31^\circ$  до  $66,2^\circ$  на правой.

При исследовании величин угла между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка было выяснено, что средняя величина параметра на правой стороне листа в трёх местах из четырёх (в микрорайоне Черёмушки, на набережной р. Енисей и в районе ул. Вавилова). В районе цементного завода левое среднее значение признака больше правого.

Сравнение правых и левых половин листовых пластин по критерию Стьюдента показало, что достоверных отличий между сторонами листьев нет (Таблица 2.).

Таблица 2 – Сравнительная оценка билатеральных признаков половин листовых пластинок тополя бальзамического по значению коэффициента Стьюдента в районах исследования.

Места сбора проб Показатели	Микрорайон Черёмушки	Набережная Енисея	Район ул. Вавилова	Район цементного завода
Ширина половины листа	0,701	0,652	0,980	0,923
Длина второй жилки второго порядка	0,876	0,883	0,385	0,044
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка у основания этих жилок	0,150	0,819	0,133	0,544
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка с края листа	0,0418	0,030	0,102	0,368
Угол между жилкой первого порядка и второй жилкой второго порядка	0,779	0,686	0,237	0,916

Данные по средним значениям таких показателей как длина черешка, длина центральной жилки и угол кончика листовых пластинок представлены в ПРИЛОЖЕНИИ Б

Средняя длина черешка (рисунок 8) составляла от  $40,11 \pm 1,57$  мм в районе цементного завода до  $51,66 \pm 0,93$  мм в районе ул. Вавилова.

В микрорайоне Черёмушки средняя величина данного параметра -  $51,25 \pm 1,16$  мм, а на набережной р. Енисей -  $50,45 \pm 1,14$  мм.

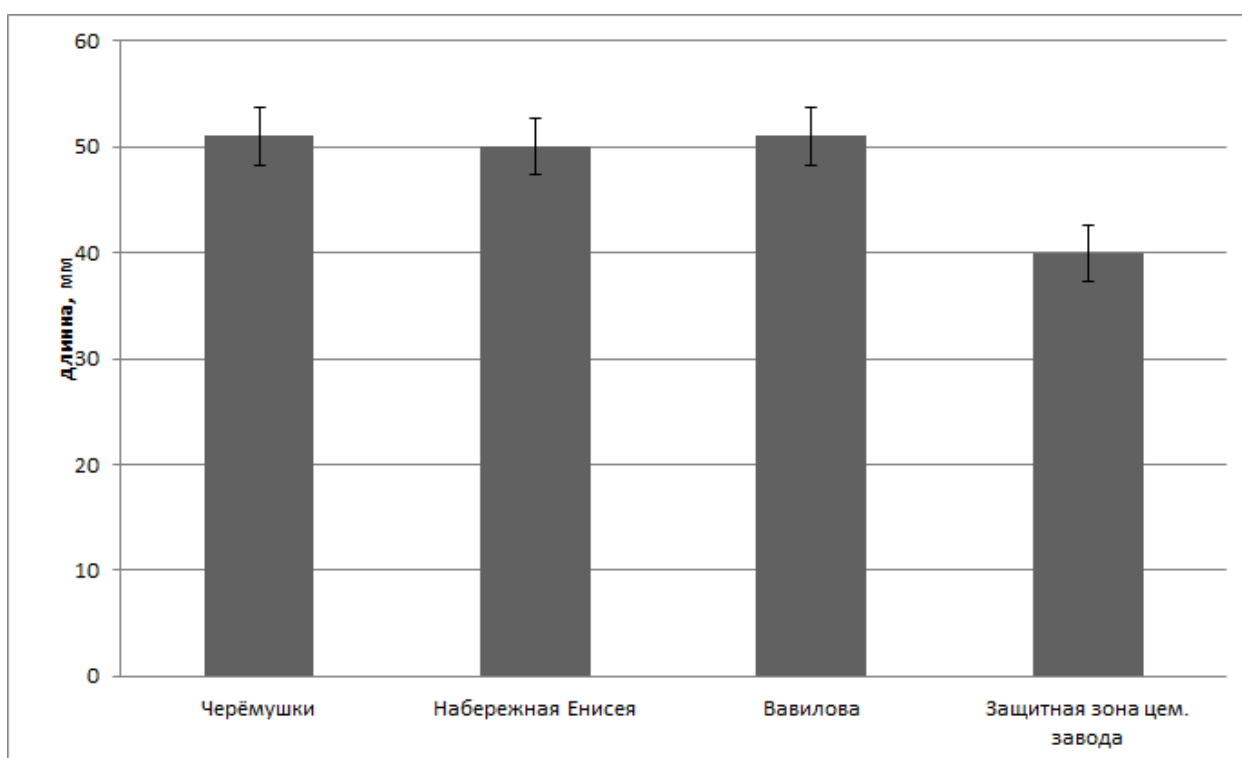


Рисунок 8 - Длина черешка листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярска, 2016г. (средние значения признака)

Длина черешка в микрорайоне Черёмушки изменялась от 26,6 мм до 80,4 мм, в районе ул. Вавилова от 35,1 мм до 76,2 мм, на набережной р. Енисей – то 25,8 мм до 86,6 мм, а в районе цементного завода от 14,9 мм до 70,5.

Самая большая величина этого показателя зарегистрирована в микрорайоне Черёмушки, а наименьшая в районе цементного завода.

Наибольшая средняя длина центральной жилки (рисунок 9.) была зафиксирована в районе цементного завода и составила  $98,59 \pm 2,5$  мм. На этом участке длина жилки первого порядка изменялась от 67,8 мм до 143,8 мм.

Наименьшая средняя величина этого параметра отмечена в районе ул. Вавилова -  $89,42 \pm 1,53$  мм. Максимальная и минимальная величина этого параметра на данном участке составили 139,8 мм и 57,3 мм, соответственно.

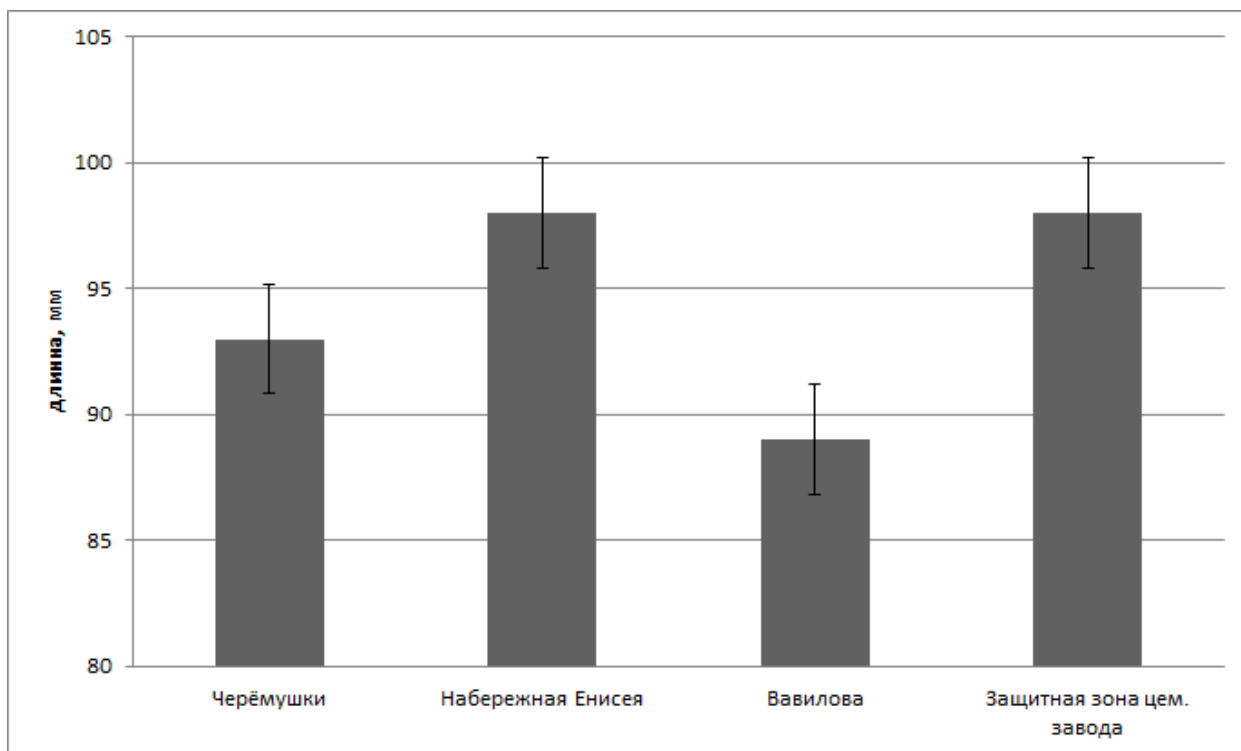


Рисунок 9 - Длина центральной жилки листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярска, 2016г.  
(средние значения признака)

В микрорайоне Черёмушки длина центральной жилки изменялась от 61,8 мм до 122,2 мм, средняя величина данного признака составила  $93,57 \pm 1,32$  мм.

Средняя длина жилки первого порядка на набережной р. Енисей равна  $98,27 \pm 2,06$  мм. Сам параметр на данном участке изменялся от 50,4 мм до 156,4 мм.

Самая большая длина центральной жилки была зарегистрирована на набережной р. Енисей.

Угол кончика листа во всех местах сбора изменялся от 18,4° до 119,7° (оба значения отмечены в микрорайоне Черёмушки). В районе ул. Вавилова этот параметр варьировался от 23,3° до 71,6° , на набережной р. Енисей от 21,5° до 113,7° и в районе цементного завода от 20,2° до 95,7°.

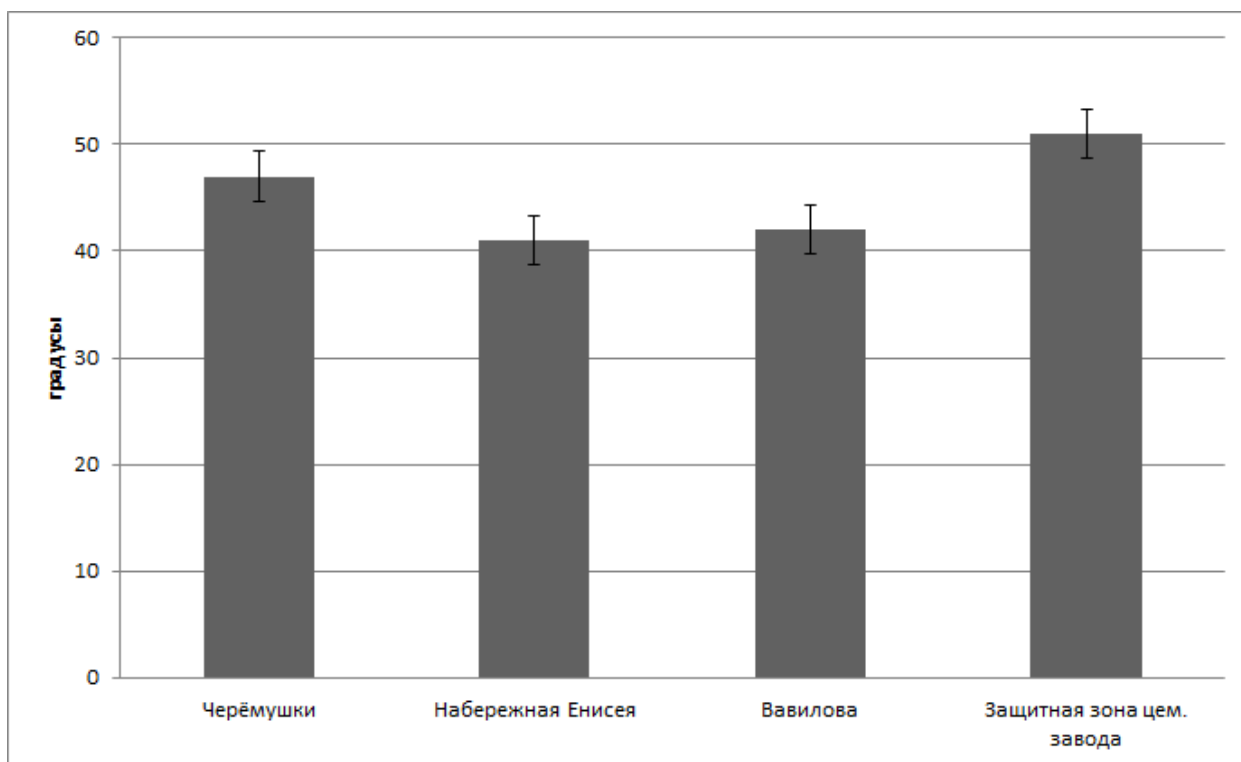


Рисунок 10. Угол кончика листовых пластинок тополя бальзамического произрастающего на территории г. Красноярск, 2016г. (средние значения признака)

Наибольшая средняя величина угла кончика листовой пластины отмечена в районе цементного завода -  $51,93 \pm 1,84^\circ$  . Наименьшее среднее значение этого параметра принадлежит листьям, собранным на набережной р. Енисей ( $41,25 \pm 1,85^\circ$ ).

В районе ул. Вавилова среднее значение угла кончика листа составило  $42,42 \pm 1,08^\circ$  мм а в микрорайоне Черёмушки -  $47,02 \pm 2,36^\circ$ .

Изучение одинарных и билатеральных морфометрических признаков показало неоднозначность и неравномерность распределения асимметрии по признакам в изучаемых районах.

Дополнительно был проведён расчёт коэффициента Стьюдента (ПРИЛОЖЕНИЕ В, ПРИЛОЖЕНИЕ Г). Сравнивались исследуемые участки по отношению к самому чистому участку – к набережной р. Енисея.

Проведённый расчёт критерия Стьюдента показал, что нет никаких отличий между участками.

Помимо рассмотренных показателей в оценке состояния окружающей среды применился такой параметр, как соотношение площадей левых и правых половинок листовых пластин, предложенное Авдеевой.

Ею разработана шкала (таблица 3) для оценивания среды с учётом такого параметра, как площадь половины листа, на основе изучения морфометрических признаков Берёзы повислой в г. Красноярске.

Таблица 3 - Оценка качества среды по методике Авдеевой [1]

Значение показателя асимметричности, %	Оценка качества среды
До 9	Условная норма
От 9 до 10	Удовлетворительное состояние
От 10 до 11	Напряжённое состояние
От 11 до 12	Конфликтное состояние
Более 12	Критическое состояние

По этой методике были проведены расчёты по определению показателя асимметричности и оценка качества среды. Полученные данные представлены в таблице 5.

Самая большая средняя величина половин листа отмечена на набережной р. Енисей и равна 1891,69 мм<sup>2</sup> на левой стороне листа и 1893,80 мм<sup>2</sup> на правой. Наименьшие значения данного параметра зарегистрированы у листьев собранных в районе ул. Вавилова 1643,56 мм<sup>2</sup> на левой стороне, а на правой 1636,35 мм<sup>2</sup>.

В микрорайоне Черёмушки средние площади левой и правой сторон листа равны 1817,39 мм<sup>2</sup> и 1792,95 мм<sup>2</sup>, а в районе цементного завода - 1848,6695 мм<sup>2</sup>, 1835,7395 мм<sup>2</sup>.

На рисунке 11 схематично изображено процентное соотношение половин листовых пластин тополя бальзамического произрастающего на территории г. Красноярска. По этим круговым диаграммам видно, что различия между правой стороной и левой стороной листа незначительны.

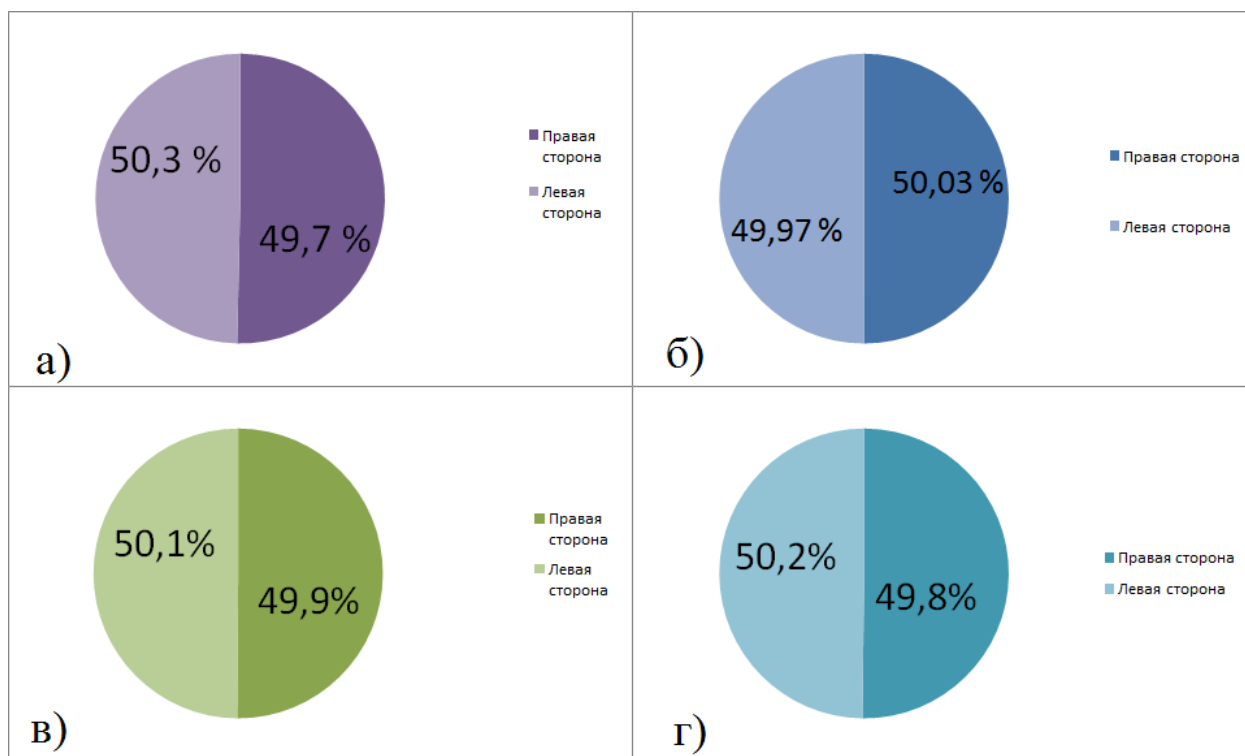


Рисунок 11. Схематическое изображение соотношения средних площадей половин листовых пластин тополя бальзамического произрастающего, на территории г. Красноярска, 2016 г.:

а – микрорайон Черёмушки

б – набережная р. Енисей

в – район ул. Вавилова

г – район цементного завода

Расчёт показателя асимметричности (таблица 4) показал, что по методике Авдеевой и Надемянова все исследуемые участки характеризуются как «Условная норма», что не соответствует действительности. Из чего следует, что данная методика не подходит для нашей работы.

Таблица 4 - Показатели площади половин листовых пластинок тополя бальзамического и оценка качества среды на территории правобережной части г. Красноярск

Места отбора проб	Параметры (средние значения)		Значение показателя асимметричности, %	Оценка качества среды
	Площадь левой стороны листа, мм <sup>2</sup>	Площадь правой стороны листа, мм <sup>2</sup>		
Микрорайон Черёмушки	1817,39	1792,95	5,36	Условная норма
Набережная р. Енисей	1891,69	1893,80	5,58	Условная норма
Район ул. Вавилова	1643,56	1636,35	4,50	Условная норма
Район цементного завода	1848,66	1835,73	5,57	Условная норма

### 3.2 Оценка состояния среды обитания тополя бальзамического по интегральному показателю стабильности развития.

Параллельно со сбором листовых пластин была проведена оценка интенсивности транспортной нагрузки в исследуемых р-нах. Данные представлены в таблице 5.

Наибольшую степень транспортной нагрузки имеет район цементного завода, где в среднем за час проезжает около 100 транспортных средств, из которых 47 причисляются к грузовым, 41 – легковые автомобили и 12 автобусов. Помимо этого этот участок находится в непосредственной близости от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха – ТЭЦ – 2 и цементного завода.

Наименьшая транспортная нагрузка отмечена на набережной р. Енисей в час на этом участке проезжает только 15 легковых автомобилей. Грузовые автомобили и автобусы на данном участке за всё время исследования не наблюдалось.

Таблица 5 - Характеристика исследуемых районов по наличию стационарных источников загрязнения и по транспортной нагрузке.

Исследуемый участок	Наличие стационарного источника	Транспортная нагрузка (ед./ч)		
		Тип транспорта		
		Легковой	Автобусы	Грузовой
Набережная р. Енисей	-	15	-	-
Микрорайон Черёмушки	-	63	-	3
Район ул. Вавилова	-	94	-	3
Район цементного завода	ТЭЦ-2, цементный завод, шиферная фабрика	41	12	47

В микрорайоне Черёмушки и в районе ул. Вавилова также как и на набережной р. Енисей автобусы не были зафиксированы, количество проезжающих, в среднем за час, автомобилей равно 63 (микрорайон Черёмушки) и 94 (район ул. Вавилова). Усреднённое количество грузового транспорта за час в обоих участках равно 3.

В соответствии с транспортной нагрузкой происходит выделение загрязняющих веществ в атмосферный воздух. По количеству автомобилей и по наличию стационарных источников на исследуемых участках, легко можно предположить, что наибольшую негативную нагрузку на атмосферный воздух имеет район цементного завода, а наименьшую – набережная р. Енисей.

Расчёт флуктуирующей асимметрии (таблица 6) и интегрального показателя стабильности развития показал, что набережная р. Енисей является самым чистым районом, из исследуемых.

Флуктуирующая асимметрия (ФА) ширины половинок листа на этом участке составила 0,029 (также как и у цементного завода), меньше ФА этого показатель была только у района ул. Вавилова - 0,022. А у микрорайона Черёмушки ФА данного признака имеет одинаковую величину и равна она 0,025.



ФА длины жилки второго порядка имеет более широкий диапазон значений, чем у ширины половин листа. Наименьшая величина этого показателя принадлежит району ул. Вавилова - 0,033, наибольшая – у района цементного завода - 0,046. На набережной р. Енисей и в микрорайоне Черёмушки ФА данного признака равны 0,035 и 0,044, соответственно.

ФА расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка равна: в микрорайоне Черёмушки и в районе ул. Вавилова – 0,015, на набережной р. Енисей – 0,014, а в районе цементного завода имеет наименьшее значение – 0,012.

Таблица 6 – Значение показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластин тополя бальзамического произрастающего на территории г. Красноярск, 2016 год.

Параметр Место сбора проб	ширина половинки листа	длина жилки второго порядка	расстояние между основаниями и первой и второй жилок второго порядка	расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка	угол между главной жилкой и жилкой второго порядка	интегральный показатель стабильности развития
Набережная р. Енисей	0,029	0,035	0,014	0,011	0,085	0,033
Микрорайон Черёмушки	0,025	0,044	0,015	0,014	0,067	0,034
Район ул. Вавилова	0,022	0,033	0,015	0,098	0,054	0,044
район цементного завода	0,029	0,046	0,012	0,125	0,070	0,056

ФА расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка имеет наибольшее значение в районе цементного завода (0,125) и наименьшее на набережной р. Енисей. В микрорайоне Черёмушки данный признак равен 0,014, а в районе ул. Вавилова 0,098.

У угла между главной жилкой и жилкой второго порядка ФА имеет максимальную величину у набережной р. Енисей и равно 0,085. Наименьшее значение ФА этого параметра в районе ул. Вавилова 0,054. В микрорайоне Черёмушки ФА данного признака – 0,67, а в районе цементного завода – 0,070.

Рассчитанный, как арифметическое целое всех значений ФА, интегральный показатель стабильности развития был оценён с помощью таблицы 7. И на основе полученных данных была построена таблица 8.

Таблица 7 – Оценка качества среды по значению интегрального показателя стабильности развития по Захарову [13].

Значение интегрального показателя стабильности среды	Балл состояния	Оценка качества среды
<0.040	1	Условная норма
0.040-0.044	2	Удовлетворительное состояние
0.045-0.049	3	Напряженное состояние
0.050-0.054	4	Конфликтное состояние
>0.054	5	Критическое состояние

При проведении оценки качества среды (таблица 8) выяснилось, что набережная р. Енисей и микрорайон Черёмушки относятся к территориям с качеством среды, описываемым как «условная норма» (1 балл по шкале Захарова) при значениях интегрального показателя стабильности развития 0,033 и 0,034, соответственно.

Таблица 8 - Интегральный показатель стабильности развития листовых пластин тополя бальзамического произрастающего на территории г. Красноярска, 2016 год.

Место сбора проб	Интегральный показатель стабильности развития	Баллы	Качество среды
Набережная р. Енисей	0,033	1	Условная норма
Микрорайон Черёмушки	0,034	1	Условная норма
Район ул. Вавилова	0,044	2	Удовлетворительное состояние
Район цементного завода	0,056	5	Критическое состояние

Это означает, что состояние атмосферного воздуха соответствует уровню нормального и в случае присутствия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, их содержание не превышает нормы. Внешний вид листьев из этих районов можно оценить на рисунке 12.

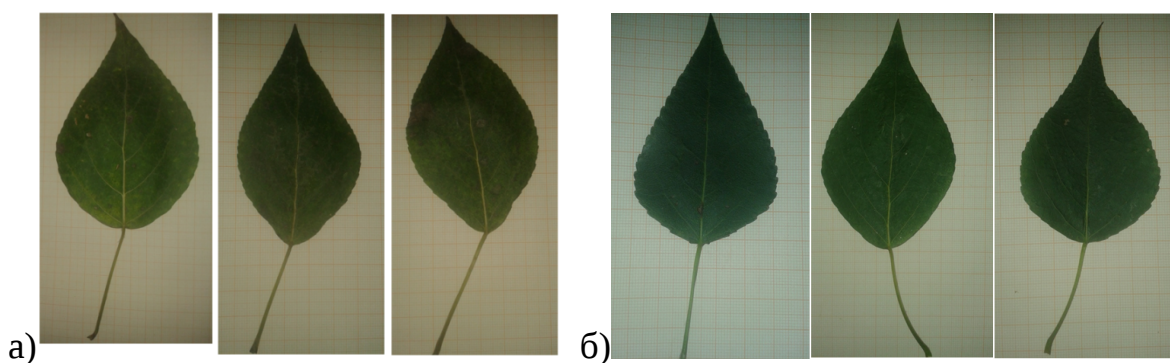


Рисунок 12. Внешний вид листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего на набережной р. Енисей (а) и в микрорайоне Черёмушки (б) (фотографии автора)

В районе ул. Вавилова тополь бальзамический имеет значение интегрального показателя стабильности развития 0,044, что соответствует 2 баллам по шкале Захарова, а исследуемый район характеризуется как территория, находящаяся в удовлетворительном состоянии, то есть

загрязняющие вещества присутствуют, но их концентрация находится в пределах нормы.

Листовые пластины, собранные на данном участке изображены на рисунке 13.



Рисунок 13. Внешний вид листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего в районе ул. Вавилова. (фотографии автора)

Район цементного завода имеет как стационарные, так и передвижные источники загрязнения. Сюда поступают выбросы ТЭЦ – 2, работающей на сжигании бурого угля, выбросы цементного завода и шиферной фабрики, выхлопы автотранспорта. Данные факторы обуславливают высокую степень загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова. В данном районе интегральный показатель стабильности развития тополя бальзамического имеет высокое значение 0,056, что соответствует оценке в 5 баллов – это, в соответствии со шкалой Захарова, характеризует состояние окружающей среды как критическое.

Листья, собранные на данном участке в большей степени подвержены различным заболеваниям и их внешний вид напрямую отображает размер ФА (рисунок 14).



Рисунок 14. Внешний вид листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего в районе цементного завода. (фотографии автора)

Таким образом, установлено, что в рекреационной зоне, на набережной р. Енисей (правобережье) состояние воздушной среды соответствует условной норме. В селитебной зоне зарегистрирована дифференциация качества среды от условной нормы в микрорайоне Черёмушки до удовлетворительного состояния в районе ул. Вавилова. Данная дифференциация районов подтверждается транспортной нагрузкой.

В промышленной зоне правобережья г. Красноярска отмечено критическое состояние атмосферного воздуха и почвенного покрова, как среды обитания тополя бальзамического, обусловленное постоянным поступлением поллютантов.

## ВЫВОДЫ

1. Билатеральные и одинарные признаки листовых пластин тополя бальзамического, произрастающего на правобережной части г. Красноярска находятся в пределах размеров типичных для представителей данного вида. Достоверные отличия между правой и левой половинками листа отсутствуют.

2. Сравнительный анализ морфометрических показателей листовых пластинок тополя бальзамического не выявил значимых отличий районов с участком с наименьшей антропогенной нагрузкой

3. Флуктуирующая асимметрия морфометрических признаков листовых пластин проявилось в пределах от 0,011 до 0,125. В наибольшей степени изменение билатеральных параметров было по расстоянию между основаниями первой и второй жилок второго порядка, по углу между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка и по расстоянию между концами первой и второй жилок второго порядка.

4. Интегральный показатель тополя бальзамического составлял 0,033-0,056, увеличиваясь у объектов по мере усиления антропогенной нагрузки в виде промышленных предприятий и транспорта.

5. Состояние окружающей среды правобережной части г. Красноярска оценивается по градациям качества среды как условная норма в районе набережной р. Енисея и микрорайоне Черёмушки, незначительным загрязнением в районе улицы Вавилова и как критическое состояние в районе цементного завода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ФА – флуктуирующая асимметрия

ИПСР – интегральный показатель стабильности развития

ЗВ – загрязняющие вещества

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеева, Е.В. Оценка состояния городской среды методами дендроиндикации / Е.В. Авдеева, ВФ. Надемянов // Вестник КрасГАУ. - 2013. - №11.- С. 199-205.
2. Алисов, Б.П. Курс климатологии / Б.П. Алисов, О.А. Дроздов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1952. – 487 с.
3. Ашихмина, Т. Я. Биоиндикация и биотестирование - методы познания экологического состояния окружающей среды. Вып. 4, ч. 3 /, Т. Я. Ашихмина, ред.: Е. В. Дабах, И. А. Жуйкова ; Вят. гос. гуманит. ун-т. - Киров: ВятГГУ, 2005. - 51 с.
4. Бакиев, И.Ф. Особенности развития растений тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами / И.Ф. Бакиев, Р.Х. Ямалеев, А.А. Кулагин // Аграрная Россия. - 2010. - №5. - С. 35-42
5. Боголюбов, А. С. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев / А. С. Боголюбов. – Москва: Экосистема, 2002. – 10 с.
6. Бураков, Д.А. Учение об атмосфере: учеб. пособие /Д.А. Бураков, А.В. Гренадерова. – Красноярск. Сиб. федер. ун-т. – 2013. – 292 с.
7. Вальтер, Р. Биоиндикация загрязнителей наземных экосистем / Э. Вайнерт, Р. Вальтер, Т. Ветцель [и др.]; Под ред. Р. Шуберта; Пер. с нем. Г. И. Лойдиной, В. А. Турчаниновой; Под ред. Д. А. Криволуцкого. – М.: Мир. – 1988. – 348 с.
8. Вернадский, В. И. О науке. Т.1. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль / В. И. Вернадский, Ин-т истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова, Рос. акад. наук . – Дубна : Феникс, 1997 . – 576 с.
9. Горышина, Т. К. Экология растений / Т.К. Горышина – М.: Высшая школа. - 1991. - С 310-315
10. Дружкина, Т.А. Исследование биоиндикационных свойств древесных пород в городской среде / Т.А. Дружкина, Л.В. Лебедь // М. : Наука. - 2010. - С 42 .



11. Есенжолова, А.Ж., Биоиндикационный потенциал листьев древесных и кустарниковых растений г. Темиртау / А.Ж. Есенжолова, М.С. Панин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – Томск, 2012. - №3(19) .- С. 160 - 168.
12. Захаров, В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость)/ В.М. Захаров // Экология. - 2001. - №3. - С. 177 – 191.
13. Здоровье среды: методика оценки /Захаров В. М., [и др.] – М.: Центр экологической политики России. - 2000.- 68 с.
14. Козлов, М. В. Исследование флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология. / М. В. Козлов // Экология. – 2017. - № 1. – С. 3 -12.
15. Консенсусный документ по биологии тополя *Populus L.* (№16) // Публикации ОЭСР по охране окружающей среды, здравоохранению и безопасности. Серия «Гармонизация регуляторного надзора в области биотехнологий». – Париж. – 2000. – 25 с.
16. Красная книга Чукотского автономного округа. В 2 Томах./ Департамент промышленной и сельскохозяйственной политики Чукотского автономного округа. Институт биологических проблем Севера ДВО РАН. Коллектив авторов под редакцией И. А. Черешнева.— Магадан: «Дикий Север», 2008. – Том 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений (покрытосеменные, папоротниковидные, плауновидные, мохообразные, лишайники, грибы) . – 224 с.
17. Кряжева, Н.Г. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения / Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, В. М. Захаров // Экология. - 1996. - № 6. – С 441–444.
18. Ляшенко, О.А, Биоиндикация И биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие/ О.А Ляшенко // СПб ГТУРП. - СПб.- 2012. – 67 с.

19. Марк Порций Катон. Земледелие. / Пер. и комм. М. Е. Сергеенко при участии С. И. Протасовой. (Серия «Литературные памятники»). Отв. ред. И. И. Толстой. М. - Л.: Изд-во АН СССР. - 1950. - 220 с.
20. Мелехов, И.С. Лесоведение и лесоводство / И.С. Мелехов. - М.: МЛТИ, 1970. - 148 с.
21. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) / МПР РФ; Введ.16.10.03. № 460-Р. М. – 2003. - 24 с.
22. Морозов, А.А. Ломоносов / А.А. Морозов. – М. : Мол. гвардия, 1965 . - 576 с.
23. Мучкина, Е.Я. Тяжёлые металлы в техногенных поверхностных образованиях красноярской агломерации. / Е.Я. Мучкина, И.С. Коротченко // Современные проблемы науки и образования.– 2016. - № 4. – 224с.
24. Овеснов, С.А. Морфология и анатомия вегетативных органов высших растений : метод. указания к лабораторным работам / С.А. Овеснов, Л.Г. Переведенцева; Перм. ун-т. – Изд. 2-е, перераб. –Пермь: ПГНИУ, 2007. – 97 с.
25. Обручев, В.А. Жизнь и научная деятельность А.П. Карпинского / В.А. Обручев // Известия АН СССР. Серия геологическая. - 1947. - №1. - С.5.
26. Реймерс, Н.Ф. Экологизация. Введение в экологическую проблематику / Н.Ф. Реймерс – М.: Изд-во РОУ, 1992.
27. Словарь "Термины и определения по охране окружающей среды, природопользованию и экологической безопасности"// "Изд-во СПбГУ" . - 2001. - 256с.
28. Тасейко, О.В. Геоэкология: ветровые характеристики в приземном слое атмосферы для прогнозирования антропогенных катастроф на неоднородной урбанизированной территории / О.В. Тасейко, С.В. Михайлюта, Ю.В. Захаров, А.А. Леженин, Р.Г. Хлебопрос // Инженерная экология. – 2009. – No 4. – С. 48–54.

- 29.** Тиходеев, О.Н. Классификация изменчивости по факторам, определяющим фенотип: традиционные взгляды и их современная ревизия // Экол. генетика. - 2013. – Т. 11. – Вып. 3. – С. 79–92.
- 30.** Туровцев, В.Д. Биоиндикация: Учеб. Пособие./ Туровцев В.Д., Краснов В.С; Твер. гос. ун-т. – Тверь: ТвГУ, 2004. – 260 с.
- 31.** Экологическая индустрия: эколого-экономические проблемы г. Красноярска / С.Г. Баякин, В.В. Матузова, О.С. Прохорова, Р.Г. Хлебопрос // Инженерная экология - 2012. - № 3 - С. 13-21.
- 32.** Экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие. Изд. 3-е, испр. и доп. / Под ред. Т.Я. Ашихминой. М.: Академический Проект, 2006. — 416 с.
- 33.** Экосистемы в городской среде: структура, состояние, устойчивость, управление: учеб. пособие / под общ. ред. О.В. Тарасовой. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 204 с
- 34.** Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона в 82 т. и 4 доп. т. — М.: Терра. - 2001. — 40 726 с.
- 35.** Якушина, Э.И. Древесные растения и городская среда / Э.И.Якушина //Древесные растения, рекомендуемые для озеленения Москвы. М.: Наука, 1990.-С. 5-14.
- 36.** Demeritt, M.E., Jr. Populus L. Poplar hybrids. In Silvics of North America. Vol. 2, Hardwoods. / M.E. Jr Demeritt,. // Edited by R.M. Burns and B.H. Honkala. Agriculture Handbook 654, Forest Service, USDA. – Washington: DC. - 1990. - pp. 577-582
- 37.** Farmer, R.E., Jr., and Pitcher, J.A.. Pollen handling for Southern hardwoods. In Pollen management handbook. / R.E. Jr. Farmer, and J.A. Pitcher. //Edited by E.C. Franklin. Agriculture Handbook 587, USDA For. Serv.. - Washington: DC. – 1981. - pp. 77-83.
- 38.** Lester, D.T. Floral initiation and development in quaking aspen. / D.T. Lester, // For. Sci. 9: 1963. – pp 323-329

39. Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: Implications of non-normal distributions and power of statistical tests. /Palmer AR, Strobeck C. // Acta Zool Fennica. – Helsinki. - 1992. – pp 57-72.

40. Perala, D.A. Populus tremuloides Michx. Quaking aspen. In Silvics of North America. Vol. 2, Hardwoods./ D.A. Perala // Edited by R.M. Burns and B.H. Honkala. Agriculture Handbook 654, Forest Service, USDA. – Washington: DC. - 1990. - pp. 555-569.

41. Raj A, Van Oudenaarden A. Nature, nurture, or chance: stochastic gene expression and its consequences. / A Raj, A Van Oudenaarden.// 2008. - pp 216-226.

42. Schreiner, E.J.. Populus L. Poplar. In Seeds of woody plants in the United States./ E.J.. Schreiner, // Edited by C.S. Schopmeyer. Agricultural Handbook No. 450, Forest Service, USDA, Washington, DC. - 1974. pp. 645-655

43. Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry./ L. Van Valen // Evol. 1962;16(2):125-142.

44. Zsuffa, L. Proposal for establishment and implementation of a certification service for poplar and willow planting stool. / L. Zsuffa // Poplar Council of Canada Newsletter 4: 1993.4-6

45. Биоиндикационные методы [Электронный ресурс] // Refdb.ru. Режим доступа : <https://refdb.ru/look/1221275-p3.html>

46. Биоиндикация [Электронный ресурс] // studfiles.ru - Файловый архив студентов. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5288313/page:22/#51>

47. Заводы Красноярска [Электронный ресурс] // Деловой квартал. Режим доступа: <http://krasnoyarsk.dk.ru/wiki/zavod>

48. Заводы Красноярска, промышленные предприятия [Электронный ресурс] // wiki-prom - Современная энциклопедия промышленности России - заводы и их продукция, поставщики, промышленные выставки. Режим доступа: <http://www.wiki-prom.ru/city/12city.html>

49. Климат Красноярска [Электронный ресурс] // Погода и климат. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29570.htm>

50. Красноярск [Электронный ресурс] // Не сидится. Режим доступа: <http://nesiditsa.ru/city/krasnoyarsk>

51. Мучкина, Е. Я. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя как тест-система в условиях автотранспортного загрязнения. [Электронный ресурс] / Е. Я. Мучкина, И.С. Коротченко // Международный журнал экспериментального образования Режим доступа: <http://www.expeducation.ru/article/view?id=11279>.

52. Определение влияния концентрации тяжелых металлов на процесс формирования проростков ячменя [Электронный ресурс] // studbooks.net - Студенческая библиотека онлайн. Режим доступа: [http://studbooks.net/931668/ekologiya/obschie\\_printsipy\\_bioindikatsii](http://studbooks.net/931668/ekologiya/obschie_printsipy_bioindikatsii)

53. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс] // Минприроды России. Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/>

54. Погода и климат Красноярского края и Красноярска [Электронный ресурс] // Метеонова – погодный робот. Режим доступа: <http://www.meteonova.ru/klimat/24/Krasnoyarsky%20Kray/>

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А.**

Морфометрические показатели билатеральных признаков листовых пластинок тополя бальзамического, произрастающего на территории г. Красноярска, 2016г. (среднее с ошибкой)

Место сбора проб Показатель		Микрорайон Черёмушки	Набережная Енисея	Район ул. Вавилова	Район цементного завода
Ширина половины листа, мм	L	30,30 ±0,48	30,13 ±0,61	28,54 ±0,43	29,07 ±0,74
	R	30,05 ±0,44	29,69 ±0,68	28,54 ±0,42	28,94 ±0,73
Длина второй жилки второго порядка, мм	L	45,90 ±0,87	46,98 ±0,92	43,98 ±0,63	45,62 ±1,00
	R	46,08 ±0,69	46,59 ±1,04	43,18 ±0,66	43,85 ±0,93
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка рядом с жилкой первого порядка, мм	L	13,83 ±0,52	16,13 ±0,65	13,22 ±0,54	18,12 ±0,81
	R	14,88 ±0,53	16,12 ±0,59	14,34 ±0,52	18,22 ±0,79
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка с края листа, мм	L	15,96 ±0,54	16,76 ±0,47	15,44 ±0,39	15,94 ±0,49
	R	17,64 ±0,50	18,18 ±0,52	16,34 ±0,39	16,71 ±0,52
Угол между жилкой первого порядка и второй жилкой второго порядка, град.	L	47,65±0,71	44,49±0,67	46,98±0,61	45,84±0,82
	R	47,93±0,68	44,73 ±0,87	48,09 ±0,71	45,6 ±0,92

Примечание: L – левая сторона листа; R – правая сторона листа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Морфометрические показатели одинарных признаков листовых пластинок тополя бальзамического собранного на территории г. Красноярска, 2016г. (среднее с ошибкой)

Показатели Места сбора проб	угол кончика листа	длина черешка	Длина центральной жилки
--------------------------------	--------------------	---------------	----------------------------

Микрорайон Черёмушки	47,02 ± 2,36	51,25 ± 1,16	93,57 ± 1,32
Набережная Енисея	41,25 ± 1,85	50,45 ± 1,14	98,27 ± 2,06
Район ул. Вавилова	42,42 ± 1,08	51,66 ± 0,93	89,42 ± 1,53
Район цементного завода	51,93 ± 1,84	40,11 ± 1,57	98,59 ± 2,0

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В.**

Сравнительная оценка билатеральных признаков листовых пластинок тополя бальзамического по значению коэффициента Стьюдента в районах исследования (по сравнению с «набережной Енисея»)

Место сбора проб	Левая сторона листа			Правая сторона листа		
	Микрорайон	Район ул.	Район цементного	Микрорайон	Район ул. Вавилова	Район цементного

Параметр	Черёмушки	Вавилов а	завода	Черёмушки		завода
Ширина половины листа	0,753	0,007	0,023	0,621	0,0129	0,0313
Длина второй жилки второго порядка	0,366	0,074	0,752	0,534	0,003	0,007
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка у основания этих жилок	0,012	0,415	0,000004	0,120	0,467	0,0001
Расстояние между первой и второй жилками второго порядка с края листа	0,577	0,241	0,915	0,596	0,042	0,152
Угол между жилкой первого порядка и второй жилкой второго порядка	0,0008	0,474	0,133	0,004	0,869	0,115

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Сравнительная оценка одинарных признаков листовых пластинок тополя бальзамического по значению коэффициента Стьюдента в районах исследования (по сравнению с «набережной Енисея»)

Место сбора проб Параметр	Микрорайон Черёмушки	Р-он ул. Вавилова	Защитная зона цем. завода
Угол кончика листа	0,055	0,077	0,0549



Длина центральной жилки	0,378	0,785	0,000005
Длина черешка	0,159	0,041	0,015