

## ЭПИДЕРМАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС БЕРЕЗЫ БОРОДАВЧАТОЙ (*BETULA VERRUCOSA*) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Крохалева В. К.

МАОУ «СОШ № 2 с углубленным изучением отдельных предметов», 8 «М» класс

Научный руководитель: Хайрутдинова Р. З., учитель высш. кв. к.,  
МАОУ «СОШ № 2 с углубленным изучением отдельных предметов»

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте III Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://www.school-science.ru/0317/1/28812>

В настоящее время большое внимание уделяется изучению взаимоотношений между организмами и средой. В результате хозяйственной деятельности человека усиливается влияние на растения неблагоприятных условий, поэтому в промышленных районах они выполняют немаловажную службу – являются своеобразным средством информации о загрязнении окружающей среды. Идея об использовании растений для оценки качества окружающей среды лежит в основе одного из направлений современного биомониторинга.

Растения обладают большим разнообразием продуктов обмена веществ, играющих роль адаптеров при изменяющихся условиях обитания, так как будучи укорененными в земле, они лишены возможности передвигаться и должны реагировать на возникающее дискомфортное состояние по-другому, нежели животные. Общее свойство растений – толерантность – это способность сохранять жизнедеятельность при неблагоприятных условиях.

Установлено, что от концентрации различных химических элементов зависят многие морфологические и физиологические особенности растений.

Изучение влияния тяжелых металлов на растения дает возможность судить о состоянии чистоты и загрязненности участка и принимать соответствующие природоохранные меры.

В связи с этим **целью** настоящей работы является определить реакцию эпидермального комплекса *Betula verrucosa* в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. проанализировать литературу по выбранной теме;
2. подобрать методы исследования;
3. изучить влияние загрязнения атмосферной среды на эпидерму березы бородавчатой;

4. определить реакцию эпидермального комплекса при загрязнении почв тяжелыми металлами;

5. определить более значимый параметр, по которому будет определяться степень загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

**Объектом** данного исследования была выбрана береза бородавчатая (*Betula verrucosa*).

Известно, что эпидерма листа является защитно-регуляторной системой периферической сферы всего растения, и на изменения окружающей среды будет реагировать, в первую очередь, именно она. Поэтому предметом данного исследования была выбрана эпидермальная ткань данного растения.

При анализе литературы была выдвинута следующая гипотеза: количество функциональных элементов эпидермальной ткани листа (собственно эпидермальных клеток и устьиц) тем меньше, чем выше степень загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

**Практическая значимость.** Полученные в работе данные могут быть рекомендованы для определения степени загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.

### 1. Обзор литературы.

#### 1.1. Особенности строения и функционирования эпидермальной ткани растений

Эпидерма является сложной первичной покровной тканью. Она состоит из нескольких типов клеток: собственно эпидермальных, околоустьичных и замыкающих клеток устьица и трихом (рис. 1).

Эпидермальная ткань может иметь различные выросты: трихомы, эмергенцы, выполняющие защитную, выделительную и некоторые другие функции. В зависимости от условий местообитания растения устьица могут быть локализованы

как на нижней, так и на верхней стороне листовой пластинки. Устьица представляют собой высокоспециализированные образования эпидермы, состоящие из двух замыкающих клеток бобовидной формы и устьичной щели (своеобразного межклетника между ними). (Чебышев, 2007).

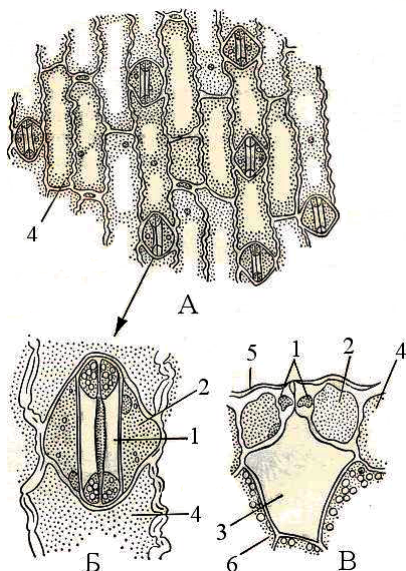


Рис. 1. Эпидерма листа

Устьичный аппарат регулирует процессы газообмена и транспирации растений. Замыкающие клетки могут смещаться, изменять объем и форму, в результате чего меняется и очертание устьичной щели: она может быть более или менее широко открыта или же вовсе закрыта. Открывание и закрывание устьиц обусловливается тургорными явлениями. Изменения тургора замыкающих клеток могут быть непосредственным следствием подвядания листа или повышения в нем содержания воды. При повышении тургора замыкающих клеток объем их клеточной полости увеличивается, в результате чего стенки отдаляются одна от другой и щель открывается. При понижении тургора замыкающих клеток происходят изменения обратного рода: стенки сближаются до соприкосновения и щель устьица замыкается.

Число и распределение устьиц очень варьирует в зависимости от вида растения и условий жизни.

Эпидерма развивается очень рано, еще в процессе внутрипочечного развития листа (Лотова, 2007).

В учебнике Е. И. Барабанова отмечается, что клетки эпидермы плотно сомкнуты между собой; благодаря этому эпидерма многофункциональна:

1) препятствует повреждению внутренних тканей;

2) регулирует газообмен и транспирацию;

3) ткань принимает участие в синтезе различных веществ, в восприятии раздражений и движении листьев.

### 1.2. Влияние соединений некоторых тяжелых металлов на морфологические и физиологические особенности растений

Тяжелые металлы – группа химических элементов, имеющих плотность  $5 \text{ г/см}^3$ . Для их биологической классификации правильнее руководствоваться атомной массой, т. е. считать тяжелыми металлы с относительной массой более 40. К тяжелым металлам отнесена группа элементов, имеющих большое биохимическое и физиологическое значение. Это так называемые микроэлементы – медь (Cu), цинк (Zn), молибден (Mo), кобальт (Co), марганец (Mn).

Известно, что при аэротехногенном загрязнении природной среды тяжелыми металлами возможны два основных пути их поступления в растения:

1) из атмосферы – через листовую поверхность и 2) из почвы – через корневую систему.

Поглощение металлов корнями может быть пассивным (неметаболическим) и активным (метаболическим):

– *пассивное* поглощение происходит путем диффузии ионов из почвенного раствора в эндодерму корней;

– при *активном* поглощении необходимы затраты энергии метаболических процессов, и оно направлено против химических ингредиентов (Полевой, 1989).

В ряде работ рассматриваются приспособительные реакции организменного уровня, основанные на комплексе метаболических механизмов защиты и коррекции физиологических процессов (Алексеев, 1987; Барсукова, 1997; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Титов и др., 2007).

Так при высоком содержании меди в почве наблюдается крайняя степень карликовости.

Высоким содержанием меди отличаются листья, а цинк в основном концентрируется в семенах.

Свинец относительно слабо поглощается растениями. Скорость поглощения свинца растениями увеличивается при подкислении почвы и при увеличении температуры. Избыток свинца в растениях ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза, вследствие чего не только снижается урожайность растений, но и резко ухудшается качество продукции.

Повышенные концентрации кадмия в корнеобитаемой среде вызывают у растений замедление роста и развития. Кроме

того, кадмий тормозит фотосинтез, нарушает транспирацию и фиксацию  $\text{CO}_2$ .

При обычных концентрациях в почвенном растворе поглощение тяжелых металлов корнями растений контролируется метаболическими процессами внутри корней. При высоких концентрациях тяжелых металлов в почвенном растворе в транспорте их к корням растений преобладающую роль играет диффузия.

Различные виды растений в значительной степени различаются по способности поглощать тяжелые металлы.

Высшие растения меньше накапливают тяжелые металлы и менее устойчивы к повышенным концентрациям, чем низшие.

Разнообразны и анатомические исследования эпидермы с целью определения приспособительной реакции к окружающей среде.

В условиях загрязнения, у большинства видов, уменьшаются размеры устьиц и основных эпидермальных клеток, возрастает их количество на единицу площади. У других видов происходит сокращение числа устьиц и их размеров. Это свидетельствует о различных путях адаптации видов к неблагоприятным факторам среды (Довбыш, 1984).

Формирование устьиц происходит последовательно и осуществляется в течение значительного периода роста и развития листа (Эсау, 1969). Формирование определенной плотности устьиц на единицу поверхности листа связано прежде всего с обеспечением и регулированием газообмена и транспирации, направленных на оптимальную продуктивность фотосинтеза растений в данных условиях. Адаптации растений в этом отношении имеют видовую специфику (Гетко, 1989; Кулагин, 1988).

Обнаружена статистически достоверная связь между газоустойчивостью растений и числом устьиц на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности листьев (Николаевский, 1963). Выявлено, что в условиях загрязненной атмосферы у менее толерантных растений число устьиц увеличивается по сравнению с контролем, а у более толерантных уменьшается (Смирнов, 1986).

Отмечаемая в ряде случаев повышенная плотность размещения устьиц на листовой пластинке и уменьшенные их размеры являются следствием торможения роста клеток, вызванного неблагоприятными условиями, в том числе повышенной задымленностью воздуха (Илькун, 1978).

В то же время в ряде работ (Кротова, 1959; Казанцева, 1965) высказывалось сомнение о роли устьиц и интенсивности газообмена в газоустойчивости.

Исследования на медеплавильных комбинатах (Николаевский, 1963) показали, что у устойчивых видов растений не только более мелкие устьица, но и меньшая степень их раскрытия в течение дня; здесь же обнаружено, что под влиянием кислых газов степень раскрытия устьиц в течение дня уменьшается.

## 2. Материал и методы исследования

### 2.1. Краткая характеристика территории

Исследования проводились на территории г. Верхняя Пышма Свердловской области.

Город Верхняя Пышма расположен на юге Свердловской области, в километре от ее столицы, у истока реки Пышмы. Является городом-спутником Екатеринбурга. Главный город Уральской горно-металлургической компании. Возник в связи с открытием (1854 г.) и разработкой (1856 г.) месторождения медных руд.

На 1 января 2016 года по численности населения город находился на 237 месте из 1112 городов Российской Федерации, с численностью 67674 человека.

Что касается экологического состояния, в городе более 10 промышленно-хозяйственных организаций, из них 3 крупных предприятия, оказывающих неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду.

Большая часть территории пригорода занята лесами, что способствует поддержанию экологической стабильности климата, гидрогеологического режима, сохранению растительного и животного мира. В то же время ряд природных факторов снижает возможности города для поддержания экологического равновесия. Среди них – низкий уровень водообеспеченности территории, отсутствие крупной речной системы, распространение низкоплодородной почвы, своеобразный режим воздухообмена, обуславливающий «смоговые» ситуации в атмосфере.

Значительная площадь земель загрязнена тяжелыми металлами. Один из наиболее высоких уровней загрязнения почвы выявлен на территории города Верхняя Пышма (96%), в зоне воздействия АО «Уралэлектромедь».

### 2.2. Характеристика объекта исследования

В качестве объекта исследования была выбрана береза бородавчатая, как наиболее часто встречаемый вид на территории города и пригорода Верхней Пышмы.

Береза бородавчатая – лиственное дерево высотой около 25–30 м. Молодые осо-

би отличаются коричневой корой, которая к 8 годам становится белой. У более старых растений в нижней части ствола образуются трещины, кора приобретает черный окрас. Древесина березы имеет желтовато-белый оттенок, она довольно плотная и тяжелая. Ветки покрыты смолистыми железками – бородавочками, от которых береза получила свое название «бородавчатая».

Листья очередные, длинночерешковые, имеют треугольно-ромбовидную форму, с клинообразным основанием, гладкие, 3,5–7 см длины, 2–5 см ширины. Край листьев двоякозубчатые. Лист березы бородавчатой обладает слабым ароматом и вязущим вкусом.

Почки сидячие. Цветки мелкие, невзрачные, декоративной ценностью не обладают. Собраны в однополых кистях – сережках: на концах ветвей тычиночные, продолговатой, цилиндрической формы, длиной 6–10 см, желтые; на укороченных боковых ветках – пестичные, цилиндрические, направлены вверх, длиной 2–3 см, зеленые.

Цветет береза бородавчатая с апреля по май.

Плоды – небольшие крылатые орехи, созревают в конце лета – начале осени. Плодоносить начинает с 10 лет, в насаждении – с 20–25 лет.

Береза бородавчатая активно используется в городских посадках, так как способствуют увеличению уровня ионизации воздуха, и является довольно быстрорастущим, неприхотливым деревом.

### 2.3. Методы исследования

Для проведения исследования было заложено пять пробных участков, сходных по экологическим признакам. Предварительные исследования показали, что территории характеризуются одним типом почв (дерново-подзолистый), с кислотностью от 6,2 до 7,5, сходным видовым составом растительности.

Пробы почв брали в поверхностном слое (0–20 см.) методом конверта.

Концентрацию металла в почвах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии после кислотной вытяжки 5% азотной кислотой. Мера токсической нагрузки определялась по концентрации группы тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb). Суммарная токсическая нагрузка рассчитывалась по формуле:

$$C_{\Sigma} = \sum C_{\text{Сикл}} / C_{\text{i}}$$

где  $C_i$  – концентрация металла в почве, мкг/г;

$C_{\text{кл}}$  – фоновое содержание металла в почве в регионе.

Одним из решающих методов диагностики и идентификации растений в нецветущем состоянии является их анатомическое исследование (Анели, 1975). В качестве объекта исследований чаще всего используют лист.

Объем использованного материала – 650 листовых пластинок. Для анализа отбирали взрослые, закончившие фазу интенсивного роста листья генеративных особей.

В качестве исследуемых параметров были выбраны количественные характеристики изменения устьиц и эпидермальных клеток с нижней стороны листа. Учет анатомических характеристик эпидермы производился с помощью метода реплик или клиокаст (Таршис Г. И., Таршис Л. Г., 1995). Реплики брали между средней жилкой и краем листовой пластинки, на равном расстоянии от базальной и апикальной частей листа. Подсчет структурных единиц проводили при увеличении 7х40. Данные обрабатывали методами математической статистики.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Результаты исследования по определению количества устьиц в кроне березы бородавчатой по сторонам света

Для окрестностей города характерно преобладание северо-западных ветров. АО «Уралэлектромедь», основной источник выброса в атмосферу соединений тяжелых металлов, расположен на юго-востоке относительно большей части г. Верхняя Пышма.

Для анализа влияния атмосферной среды на количество устьиц в кроне березы бородавчатой были отобраны 400 листовых пластинок, закончившие фазу интенсивного роста, с 5 генеративных особей.

Точка сбора материала располагается в промышленной зоне АО «Уралэлектромедь», с юго-востока по отношению к предприятию, под воздействием преобладающих северо-западных ветров.

Результаты, полученные при определении количества устьиц в кроне березы бородавчатой по сторонам света, занесены в таблицу.

Распределение количества устьиц в кроне по сторонам света

| стороны света         | север | северо-восток | восток | юго-восток | юг    | юго-запад | запад | северо-запад |
|-----------------------|-------|---------------|--------|------------|-------|-----------|-------|--------------|
| количество устьиц, шт | 17,72 | 17,54         | 17,54  | 17,4       | 17,52 | 17,48     | 17,44 | 17,48        |

При анализе таблицы значимое изменение количества устьиц в кроне березы бородавчатой по сторонам света и влияние розы ветров на этот показатель не обнаружено. Можно предположить, что концентрация тяжелых металлов в атмосферной среде очень лабильна и не оказывает влияния на анатомические изменения эпидермы.

#### Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. – 142с.
2. Анели Н. А. Атлас эпидермы листа. – Тбилиси.: Мецниереба, 1975. – 110с.
3. Барабанов Е. И. Ботаника: учебник для студентов высших учебных заведений/Е.И. Барабанов, С.Г. Зайчикова. -М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 447с.
4. Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам: Аналит. обзор. Новосибирск, 1997. – 63с.
5. Биология: Пособие для поступающих в Вузы. Том 2/ Под редакцией Н. В. Чебышева. – М.РИА «Новая волна»: Издатель Умеренков, 2007. – 289с.
6. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 208 с.
7. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. – 248 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. – 139с.
9. Кулагин А. Ю. Ивы: техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов. – Уфа: Гилем, 1998. – 193 с.
10. Лотова Л. И. Ботаника: Моорфология и анатомия высших растений: Учебник. Изд. 3-е, испр.– М.: КомКнига, 2007. – 512с.
11. Николаевский В. С. О показателях газоустойчивости растений // Труды Ин-та биологии УФАИ. – 1963. – вып. 31. – с. 31–33.
12. Полевой В. В. Физиология растений. М.: ВШ, 1989. – 464с.
13. Скворцов В. Э. Учебный атлас. Флора Средней России. – М.: ЧеРо, 2004. – 103с.
14. Смирнов И. А. Роль устьичного аппарата в формировании газовойносливости древесных растений // Вестн. с.-х. науки Казахстана. – 1986. – № 10. – С. 72–75.
15. Таршис Г. И., Таршис Л. Г. Разнообразие и диагностическое значение структурных признаков лекарственных растений // Мат-лы I Междунар. симп. Пушкино. 1995.
16. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам (отв. Ред. Н. Н. Немова); Институт биологии Кар НЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172с.
17. Эсау К. Анатомия растений. – М.: Мир, 1969. – 564 с.