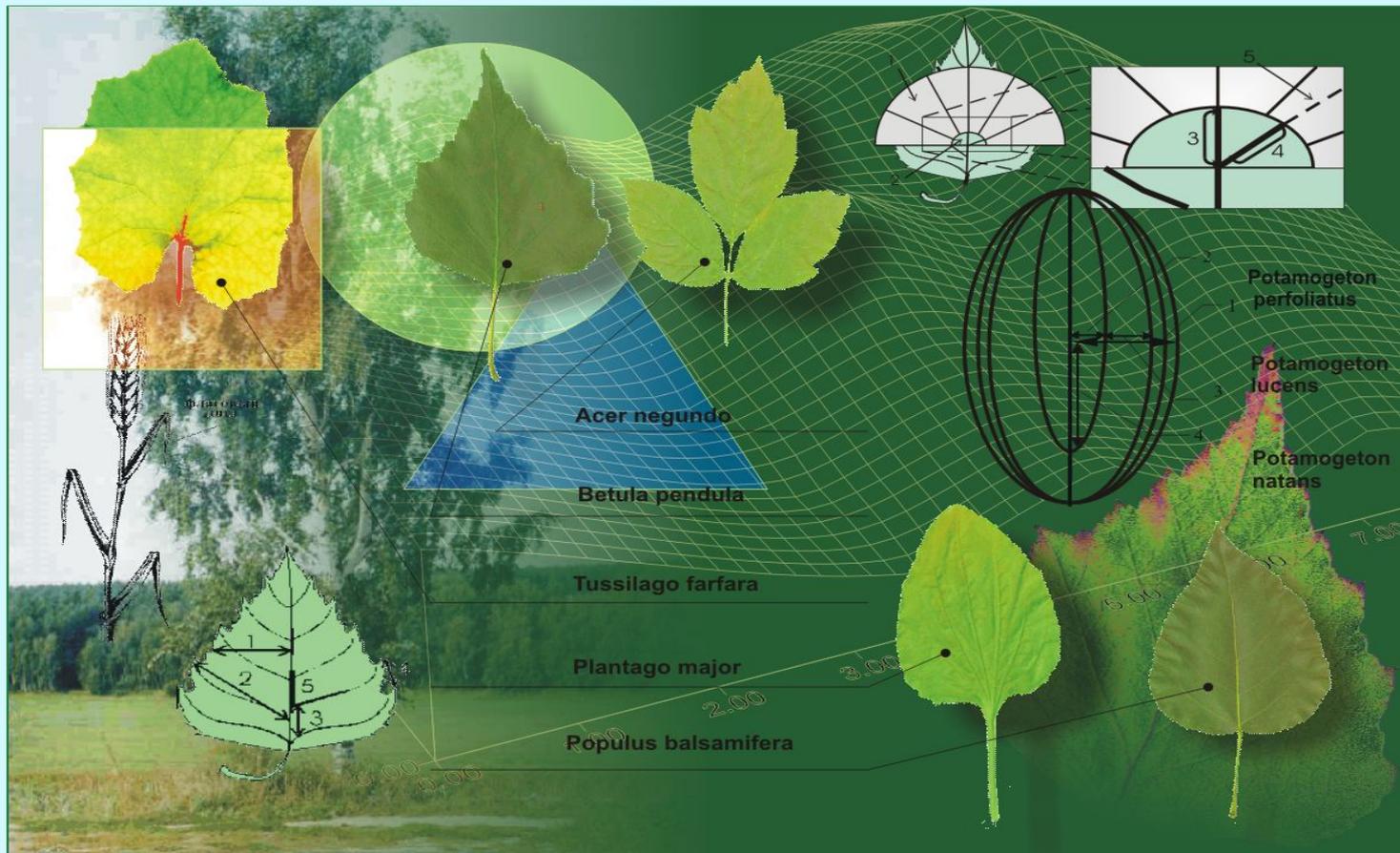


# Устойчивость растений к стрессорам химической природы



# СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ И СОЛЕВОЙ СТРЕСС У РАСТЕНИЙ

Избыточное содержание солей (засоление) характерно для 25% почв планеты. По степени засоления различают:

- практически незасоленные,
- слабо и средnezасоленные почвы,
- солончаки.

Почва считается засоленной, если она содержит более 0.25% легкорастворимых минеральных солей.

Тип засоления определяется составом солей, который зависит главным образом от содержания в почве анионов. Различают: хлоридное, сульфатное, сульфатно-хлоридное, карбонатное, карбонатно-магниевое и хлоридно-магниевое засоление

Самое токсичное для растений хлоридное засоление. Преобладающим катионом при хлоридном засолении, как правило, является натрий. В природных условиях засоления каким-либо одним видом соли практически не наблюдается.

## **СОЛЕВОЙ СТРЕСС:**

сопряженное проявление осмотического стресса и токсичного действия солей на растение

**ОСМОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС:** накопление солей в зоне роста корней понижает водный потенциал почвенного раствора, что затрудняет поступление воды в корни – возникает физиологическая засуха.

Поэтому повреждения при засолении почв сходны с теми, что наблюдаются при засухе: повышается осмотический потенциал клетки, снижается интенсивность синтетических процессов и усиливается гидролиз.

**ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ:** Возрастание содержания определенных солей приводит к их преимущественному поступлению в ткани растений, тогда как поглощение других тормозится. Содержание натрия в клетках повышается, а калия и магния снижается.

Помимо изменений в поглощении ионов, отличие засоления от засухи состоит в том, что снижение активности ферментов и других белков в этом случае происходит не только вследствие истончения гидратных оболочек, как при водном дефиците, но и в результате прямого токсического, «высаливающего» действия солей.

# ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫЕ РЕАГЕНТЫ (ПГР, ПГС)

**ПГС - пескосолевые смеси** (комбинированный химико-фрикционный метод) состоит в том, что на поверхность покрытия рассыпают фрикционные материалы, смешанные с твердыми хлоридами NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>. Пескосолевою смесь приготавливают на пескобазах, смешением фрикционных материалов с кристаллической солью в соотношении 9 : 1; 8 : 1; 6 : 1 или 4 : 1. Достоинством песчано-солевых смесей является то, что они не смерзаются и не слеживаются.

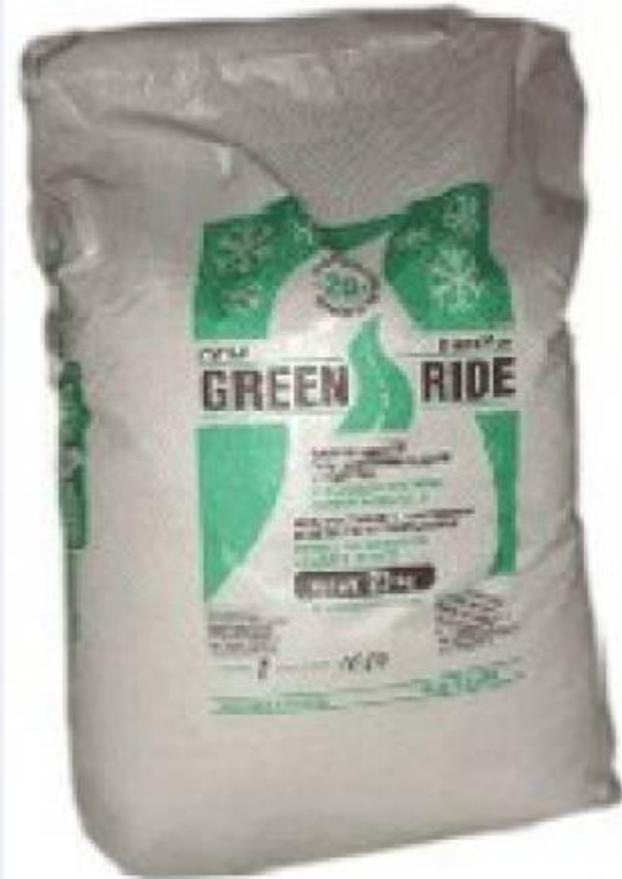
ПГС распределяют специальными пескорасбрасывателями или комбинированными дорожными машинами с универсальным оборудованием.

**ПГР - противогололёдные реагенты.** Хлоридные соли (NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>) и технический хлористый магний MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (бишофит) изготавливается путем упаривания рапы залива Кара-Богаз-Гол. Он представляет собой чешуирующий продукт, содержащий 47% хлористого магния и 53% кристаллизационной воды. Образование бишофита связано с кристаллизацией его из вод древнего моря, насыщенных солями хлористый калий (0,1-6,5%), сернокислый магний (0,1- 2,5%), бромистый магний (0,45-0,95%), сернокислый кальций (0,1-0,7%), сернокислый натрий (0,5-0,7%), хлористый натрий (0,1-0,4% до 1,0-1,2%).

# Противогололёдные реагенты (ПГР, ПГС)



**Бишофит** - представляет собой гранулы или чешуйки — смесь кристаллогидратов хлоридов щелочноземельных металлов с преимущественным содержанием гексагидрата хлорида магния.



У древесных растений, произрастающих вдоль автотранспортных магистралей, следствием действия неблагоприятных факторов (засухи, воздействия токсических веществ и противогололедных смесей) могут быть- значительная задержка весеннего пробуждения; малый прирост; образование большого количества водяных побегов; ранний листопад; частичное и даже полное усыхание побегов прошлого года в нижней и средней части кроны; краевые ожоги листьев, суховершинность .



По основе анализа снежного покрова установлено, что зона влияния автодорог распространяется от 30 до 130–150 м, в зависимости от ландшафтных условий. Механические барьеры (кустарник, деревья) уменьшают дальность переноса солевых аэрозолей, резко увеличивая их концентрацию в непосредственной близости от дорог. Открытые пространства, наоборот, способствуют дальнему переносу



*Краевой некроз и преждевременное пожелтение листьев вяза в примагистральной зоне*

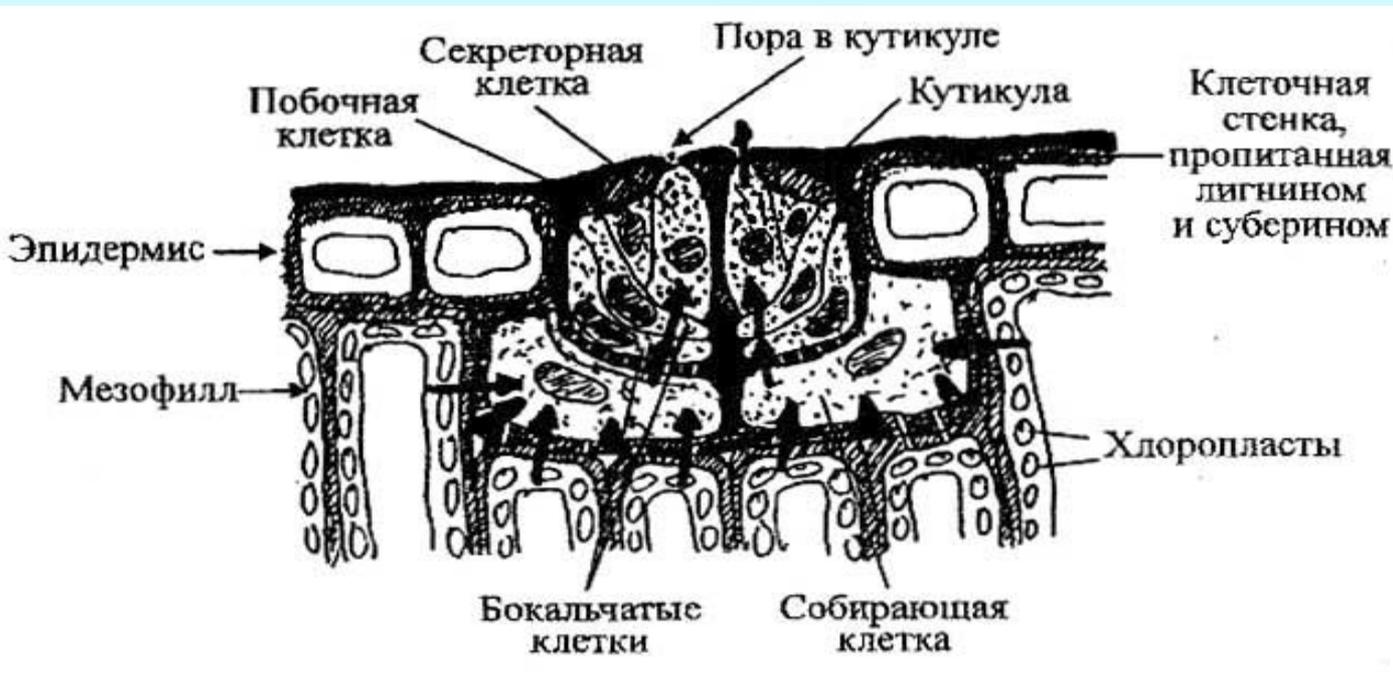
Увеличение содержания солей в почве сопровождается поступлением их в крону деревьев и в листья, вызывая некроз, усыхание побегов уже в начале вегетации, сокращение длительности вегетации и функционирования ассимиляционного аппарата растений. Большинство древесных пород, используемых в озеленении, чувствительны даже к невысокому (0,4–0,5 %) засолению почв (каштан конский, липа мелколистная, береза повислая, клен остролистный и др.)

# Приспособление растений к условиям засоления



# Приспособление растений к условиям засоления

Механизм действия связан с концентрированием солей в вакуоли. Поглощенные соли выводятся из клеток с помощью специализированных солевых железок, или избыток солей удаляется с опавшими листьями. **Солевые железы** листьев и стеблей растений выделяют избыток ионов при их росте в высоко солевой среде.

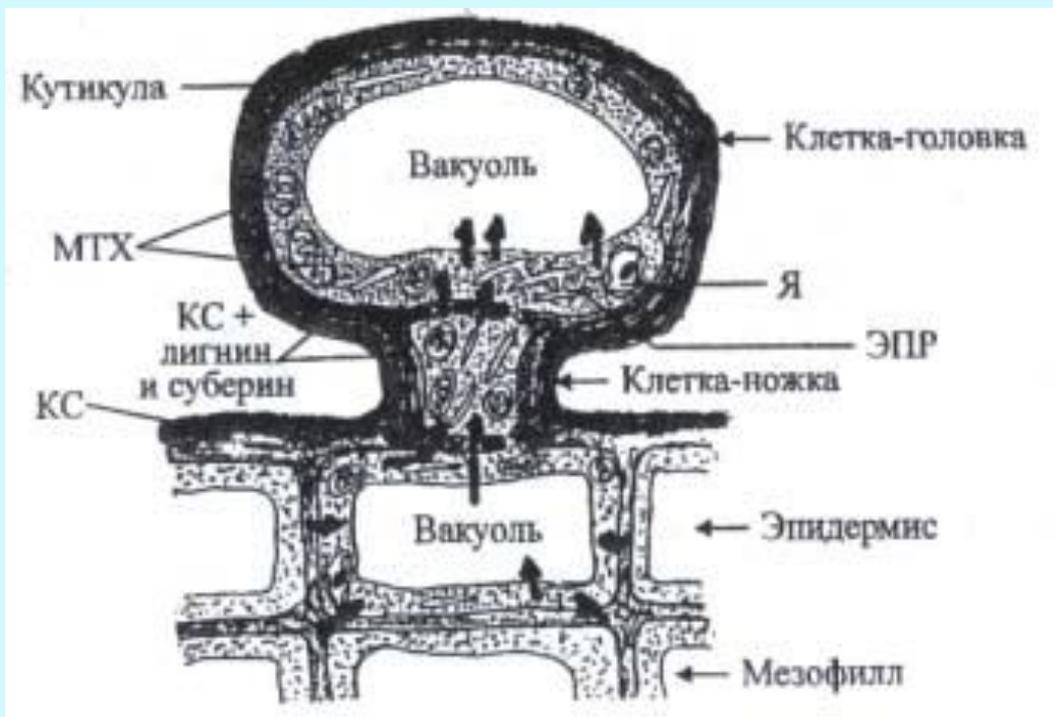


Снаружи железы покрыты морщинистой кутикулой, в которой есть поры. Через эти поры происходит секреция солей.

***Строение солевой железы***

# Приспособление растений к условиям засоления

Поглощаемые соли могут концентрироваться в вакуолях клеток головок специализированных волосков, состоящих из ножки и головки.



Когда в вакуолях головки накапливаются соли, она обрывается, на ее месте несколько раз в течение роста образуется новая головка.

**Солевой волосок**

# Приспособление растений к условиям засоления: выведение и ограниченное поглощение солей

Уровень солей в цитоплазме уменьшается при сбрасывании старых листьев, через гидатоды вместе с секрецией воды. Локальное снижение уровня солей происходит и при выделении их в сосуды ксилемы или флоэмы.

Ограниченное поглощение солей клетками корней происходит вследствие структурных перестроек в липидах мембран, появляются пропитанные суберином эндодермальные клетки, которые тормозят поступление солей по апопласту. Однако мембраны не проницаемы для солей при незначительном засолении, в случае сильного засоления соли проникают внутрь клеток. В этих условиях начинают действовать другие механизмы направленные на активное выведение солей из цитоплазмы – в вакуоль или клеточную стенку.

По способности произрастать на почвах с различным солевым режимом растения делят на:

**ГЛИКОФИТЫ** -  
растения пресных мест обитания – не обладают способностью к произрастанию на засоленных почвах

**ГАЛОФИТЫ**-  
растения засоленных местообитаний, приспособлены в процессе онтогенеза к высокой концентрации солей в почве

↓

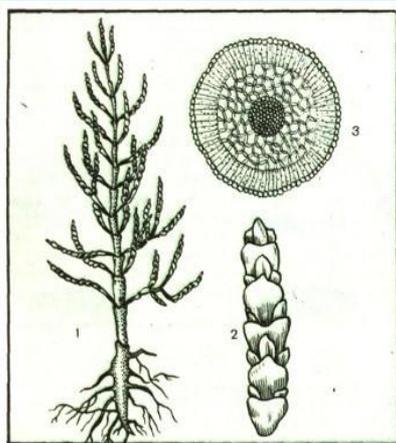
**Эугалофиты**  
(солянки)  
**Криптогалофиты**  
(солевывделяющие)  
**Гликогалофиты**

# Приспособление растений к условиям засоления: функционирование при повышенных концентрациях солей

**1. Эугалофиты (настоящие или соленакапливающие)** – наиболее солеустойчивые растения. Растут на влажных засоленных почвах: на солончаках по морским побережьям и по берегам временных и постоянных соленых озер. Проницаемость мембран для солей у них повышена, протоплазма клеток обладает большой гидрофильностью, т.е. высоким содержанием белка. Представители этой группы нуждаются в высоком уровне солей для нормального развития. Вследствие высокого осмотического давления эугалофиты обладают большой сосущей силой и способны регулировать свое водоснабжение, поглощая воду из засоленных почв.



**Солерос**



Даже семена у настоящих галофитов лучше прорастают в соленой воде. К типичным эугалофитам относятся виды рода **Солянка** (*Salsola*), **Солерос** (*Salicornia*), **Галогетон** (*Halogeton*) и другие представители семейства маревые (*Chenopodiaceae*).

**Криногалофиты, или солевыводящие галофиты.** Благодаря хорошей проницаемости мембран поглощают соли, но накапливают их внутри ткани меньше, чем эугалофиты, т.к. способны выводить соли из клеток с помощью секреторных железок на листьях и стеблях. Выделение солей железками осуществляется с помощью ионных насосов и сопровождается транспортом большого количества воды. В сухую погоду растения покрываются налетом солей, который затем сдувается ветром или смывается дождем. Часть солей удаляется с опадающими листьями. В эту группу входят кермек, тамарикс и др. Кроме того к криптогалофитам относят и галофиты с мясистыми листьями – галосуккуленты. При выращивании на незасоленных почвах галосуккулентность исчезает.



**Кермек**

Криногалофиты встречаются в растительных сообществах, которые помимо степей и полупустынь с успехом освоили прибрежные дюны, соленые марши, береговые утесы и океанические побережья. Некоторые виды освобождаются от солей, накапливающихся в их организме, сбрасывая листья или ветки годичного прироста, в последнем случае приобретая жизненную форму полукустарника или полукустарничка.

### 3. Гликогалофиты, или соленепроницаемые галофиты



Это растения, цитоплазма которых плохо проницаема для солей. Сюда относятся полыни (*Artemisia*), лохи (*Elaeagnus*), и обитают они на солонцах, при умеренных уровнях засоления почв. Проблема поглощения воды решается у них благодаря повышению осмотического давления клеточного сока с помощью углеводов, а не поглощаемых солей.

В целом их облик несет черты ксероморфизма, и более всего они сходны со склерофитами, способными добывать влагу, развивая глубокие корни. К этой же группе относят виды, способные аккумулировать излишки соли в специальных образованиях, например пузырьвидных волосках на листьях.

Механизмы солеустойчивости галофитов генетически закреплены и являются конститутивными, т.е. проявляются в любых условиях, независимо от наличия или отсутствия засоления. Напротив, защитные системы растений гликофитов являются индуцибельными, т.е., хотя они и предопределены генетически, они реализуются лишь при действии этого экстремального фактора.

Виды же, не имеющие приспособлений для выживания в условиях засоления, проявляют целый ряд признаков угнетения при избытке солей в почве. Растения, как правило, с трудом поглощают воду и страдают от ее недостатка, особенно в жару и засуху. Отмечается плохой рост наземных побегов, плохое развитие и побурение корней, некроз краев листьев и их раннее опадение. Для сельскохозяйственных культур это сказывается на продуктивности, а для декоративных растений – еще и на внешнем виде. Подобные явления можно наблюдать как в природе, так и в условиях антропогенного воздействия, в частности в городах.

Проблема угнетения растений противогололёдными реагентами, актуальна и как задача изучения негалофитных видов, устойчивых к действию солей. Примерами толерантных травянистых видов, применяемых в сложных случаях в качестве замены злаковых газонов, могут служить барвинок малый (*Vinca minor*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), горец птичий (*Polygonum aviculare*). Помимо уже указанных выше древесных видов можно перечислить кустарники: сосна горная (*Pinus mugo*), миндаль низкий (*Amygdalus nana*), вишня степная (*Cerasus fruticosa*), вяз низкий (*Ulmus pumila*), облепиха, скумпия, снежноягодники. Целый ряд солеустойчивых древесных растений применяется для озеленения городов России и Европы: слива растопыренная (*Prunus divaricata*), кельрейтерия метельчатая (*Koelreuteria paniculata*), или мыльное дерево, акация белая (*Robinia pseudoacacia*), ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica*).

# Функционирование растений в условиях засоления

Временная стимуляция дыхания

Своеобразие ионного транспорта (откачивание ионов)

Изменение гормонального статуса (накопление АБК, потеря этилена)

Накопление стрессовых метаболитов (пролина, бетаина, цианина, сорбитола, полиаминов)

Повышение стабильности мембран (уменьшение проницаемости, структурная перестройка, роль  $Ca^{2+}$ )

Синтез стрессовых белков (тех же, что при тепловом и осмотическом шоке)

## 2. АТМОСФЕРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

**Газоустойчивость** - способность растений противостоять действию атмосферных газообразных загрязнителей, сохраняя нормальный рост, формирование, плодоношение и декоративность.

По убыванию токсичности действия на растения газы можно разместить в следующей последовательности:

$O_3 > HF > SO_2 > F_2 > Cl_2 > NO_x > NH_3 > H_2S$ .

## Предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК-АЛ) в атмосферном воздухе для хвойных и лиственных пород

Загрязняющие вещества	Хвойные породы		Лиственные породы	
	ПДКм.р.*	ПДКс.с.*	ПДКм.р.*	ПДКс.с.*
Диоксид азота	0.05	0.02	0.07	0.03
Диоксид серы	0.35	0.03	0.45	0.04
HF	0.006	0.0004	0.008	0.0006

### Санитарно-гигиенические нормативы (мг/куб.м):

	ПДКм.р	ПДКс.с.
диоксид азота	0,2	0,04
диоксид серы	0,5	0,05
HF	0,02	0,005

# Межжилковый некроз – острое повреждение сернистым газом



# Повреждение смесью газообразных поллютантов с преобладанием сернистого газа



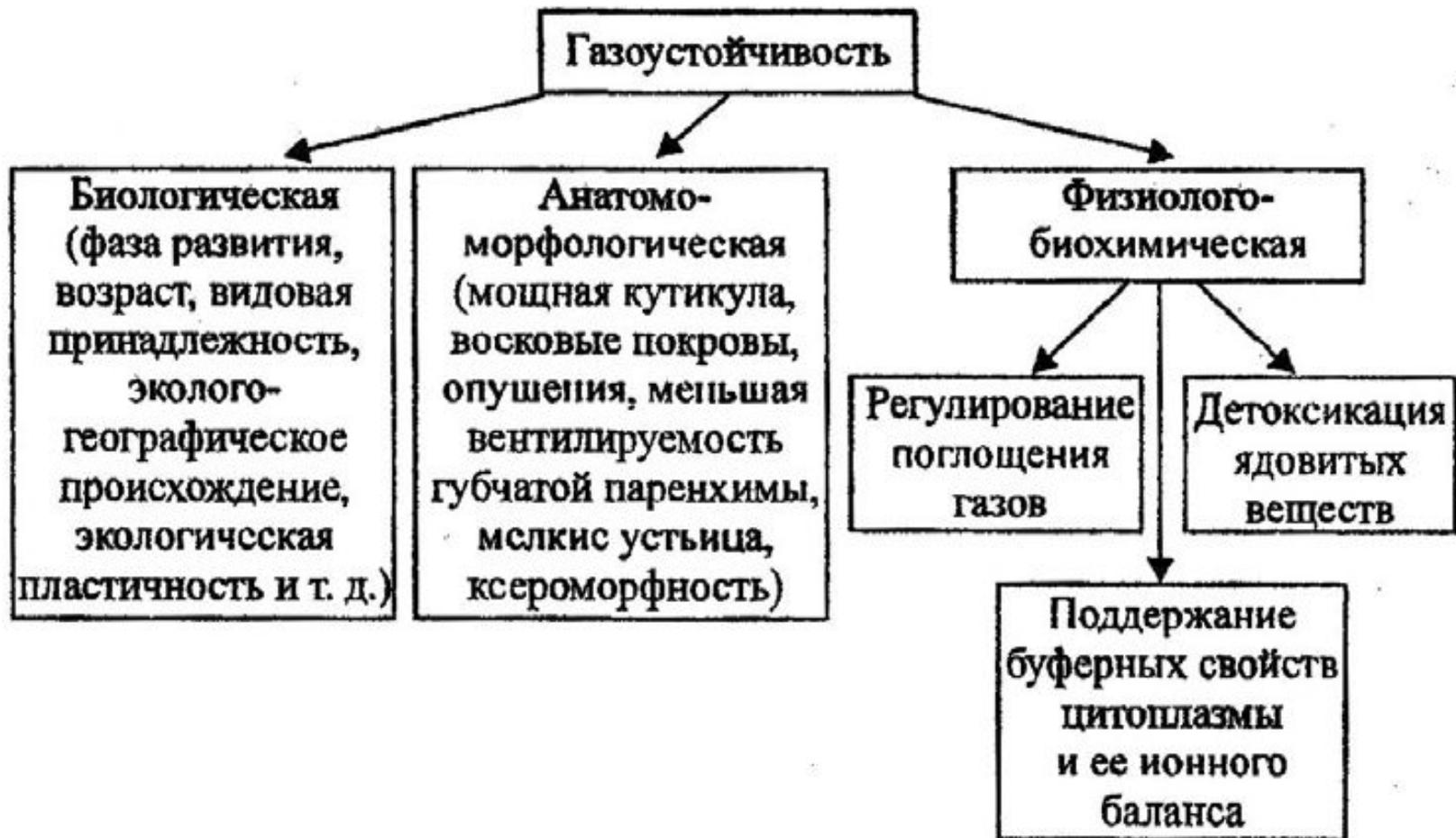
# Повреждение фтором



# В ассимилирующих органах растений в условиях воздействия промышленных газов имеют место

1. Окислительное разрушение клеточных мембран и связанные с ним, увеличение потери воды клетками, нарушение водоудерживающей способности и снижение обводненности листьев и хвои
2. Нарушение строения хлоропластов
3. Подавление фотосинтеза и нарушение синтеза белков, крахмалов, сахаров
4. Активация дыхания и окислительных ферментов и последующее угнетение дыхания]
5. Разрушение пигментов (преимущественно хлорофилла «а» и образование феофитина)
6. Активация синтеза ингибиторов роста (этилен, абсцизовая кислота и др. )
7. Изменение апертуры (устычных щелей) устьиц

# Механизмы газоустойчивости у растений



# ***Анатомо-морфологические признаки, способствующие повышению газоустойчивости***

*Мощная кутикула, дополнительные восковые покровы*

*Опушение,*

*Черты ксероморфности, в частности - мелкие устьица.*

*Восковой налет* на листьях создает водоотталкивающее покрытие, и грязь легко смывается водой. Восковой налет закрывает также устьичные щели, что повышает устойчивость

# **Физиолого-биохимические приспособительные механизмы**

1. **Регуляция поглощения газов** определяется прежде всего чувствительностью устьиц.

Под влиянием газов (особенно сернистого) устойчивые растения сами закрывают устьица.

Например, у растений приспособленных видов при повышении концентрации газов степень открытости устьиц уменьшается на 40%, у неприспособленных - только на 11%.

## **2. Поддержание ионного баланса и буферных свойств**

**цитоплазмы** может быть связано с уровнем в клетках катионов, способных нейтрализовать ангидриды кислот. Обычно растения, устойчивые к засухе, засолению и т.д. имеют более высокую газоустойчивость, возможно благодаря способности регулировать водный режим и ионный состав. На это указывает усиление под влиянием сернистого газа признаков ксероморфности листьев, а под действием хлора признаков суккулентности

# **Физиолого-биохимические приспособительные механизмы**

**2. Детоксикация газообразных ядов** происходит в результате усиления фитонцидных выделений растений (эфирных масел), обладающих антисептическими свойствами. Это характерно, в частности, для некоторых видов устойчивых к сернистому газу древесных растений.

Детоксикация газов может быть результатом и их химического преобразования. Так, в клетках сернистый газ после растворения может дать бисульфит или сульфит. Последний токсичен для растений, но при низкой концентрации метаболизируется хлоропластами до нетоксичного сульфата.

# ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ГАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ – это не одно и то же

**Газочувствительность** - скорость и степень проявления у растения патологической реакции при воздействии газа.

**Газоустойчивость** - способность растения в условиях загрязненной атмосферы сохранять свою жизнеспособность без снижения роста и размножения в силу определенных физиологических и биологических особенностей.

**Для устойчивых растений характерны:**

-пониженная интенсивность газообмена,  
высокая скорость метаболизма органических соединений и их транспорта,  
большая летальная доза при накоплении сернистого газа в клетках и  
способность к восстановлению обмена веществ  
высокая энергетическая пластичность.

Приобретенная газоустойчивость может передаваться по наследству.

Сопряженная устойчивость проявляется и для газоустойчивых видов: они отличаются большей устойчивостью к затемнению, засухе, засолению, радиации и т.д..

Древесные породы по газоустойчивости можно разделить на группы:

- 1) *слабоповреждаемые* (ивовые, жимолостные);
- 2) *среднеповреждаемые* (кленовые, маслинные, камнеломковые);
- 3) *сильноповреждаемые* (розоцветные, бобовые, сосновые).

Наиболее стойки к комплексу кислых газов и кислотных осадков: яблоня маньчжурская, бересклет, боярышник Максимовича, виноград амурский, ива козья, тополь душистый, аралия маньчжурская, тополь корейский, клен зеленокорый, дуб монгольский, маакия амурская, ива козья.

# АССОРТИМЕНТ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Специальные экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях, проведенные в различных промышленных районах, показали, что Устойчивость растений к атмосферным поллютантам - сложное экологическое явление.

Степень устойчивости растения даже к одному и тому же виду загрязнения воздуха зависит от многих

- расстояния от источника загрязнения,
- времени суток,
- погодных условий,
- интенсивности и режима выбросов вредных примесей,
- от физико-географических условий района,
- обеспеченности растения элементами минерального питания и пр.



# АССОРТИМЕНТ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Например, клен американский считается устойчивым к двуокиси серы на Урале и в Подмоскowie, но недостаточно устойчивым в более засушливых условиях - на Украине и в Донбассе (Литвинова, Левон, 1986). В Белоруссии, в зоне слабого задымления, береза бородавчатая и пушистая, обладающие высокой газопоглощительной способностью, оказывались достаточно устойчивыми (Сергейчик, 1985).

Многие виды наиболее уязвимы к действию токсичных газов в молодом возрасте: например – липа в возрасте до 15 лет, позднее ее устойчивость возрастает.



## **Газоустойчивый ассортимент** должен

быть разработан индивидуально для каждого объекта.

Древесные виды, используемые в озеленении Москвы, рекомендуется разделить на следующие группы:

1. *Устойчивые* с минимальной газопоглощительной способностью, накапливающие за вегетационный период до 3 г S, 15 г N на 1 кг сухой массы листьев (клёны ясенелистный, остролиственный, Гиннала, каштан конский ясень пушистый, бузина черная).
2. *Среднеустойчивые* - накапливающие за вегетационный период до 10 г S, 30 г N на 1 кг сухой массы листьев (тополь черный, бальзамический, клен татарский, бузина кистистая, ива козья, вяз гладкий, перисто-ветвистый, чубушник венечный, лох серебристый, смородина золотистая).
3. *Неустойчивые* виды с максимальной газопоглощительной способностью, накапливают до 20 г S и 40 г N на 1 кг сухой массы листьев: орех маньчжурский, снежноягодник белый, ива белая, яблони сливовидная и ягодная, дуб черешчатый, груша уссурийская, береза повислая, спирея калинолистная, сирень венгерская и обыкновенная (Чернышенко, 2000а).



# Оценка состояния сосны обыкновенной в городских условиях

