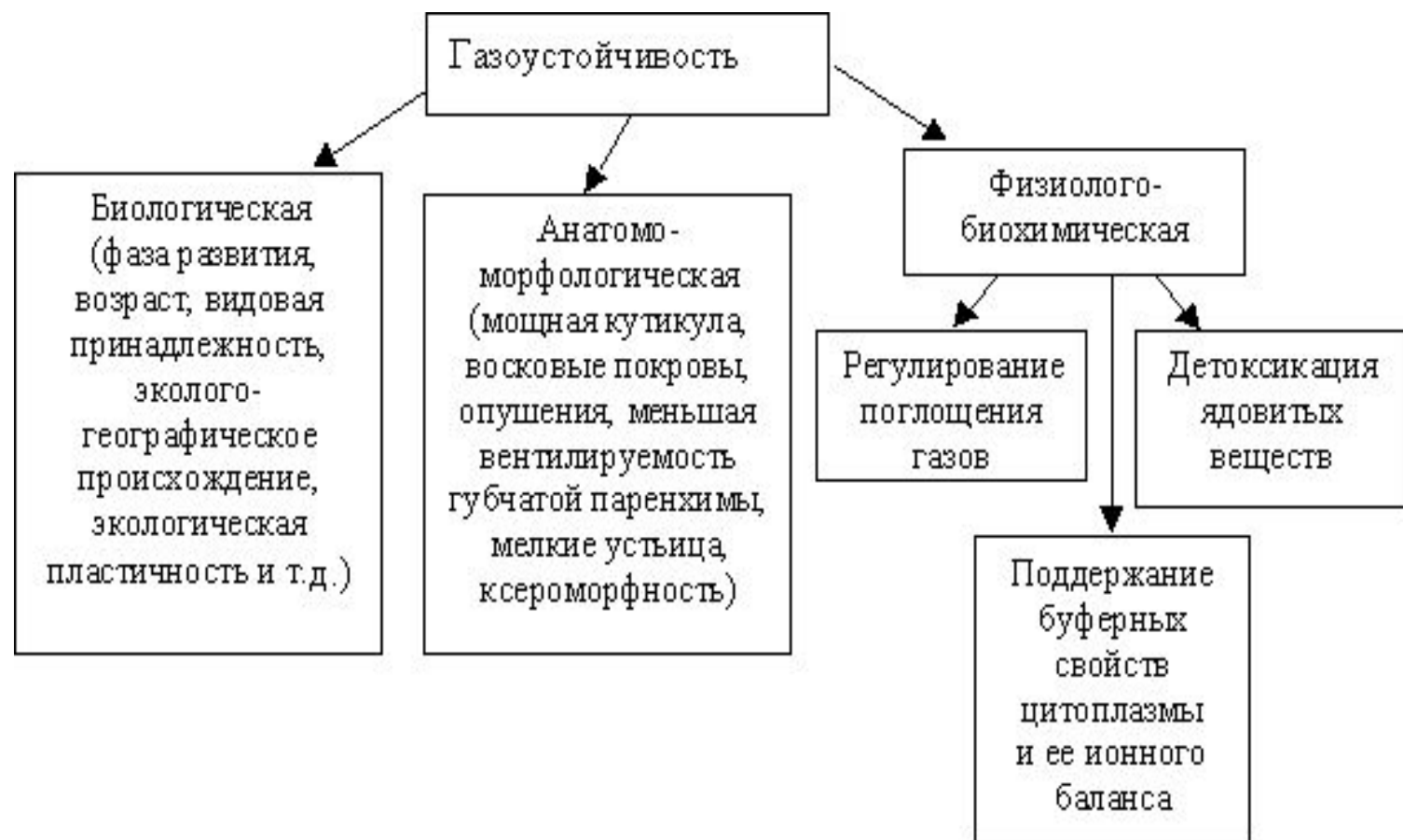


**Токсичность атмосферных  
газов. Влияние токсичных газов  
на растение.**

**Газочувствительность и  
газоустойчивость**  
Подготовил Выползов М. ББ-305

- В результате деятельности человека в воздух выделяется более 200 различных газообразных компонентов. Это сернистый газ, оксиды азота, угарный газ, озон, соединения фтора, углеводороды, пары кислот и т. д.
- По убыванию токсичности для растений газы располагаются в ряды:  $F_2 > Cl_2 > SO_2 > NO > CO > CO_2$ ;  $Cl_2 > SO_2 > NH_3 > HCN > H_2S$ .
- Пагубное влияние газов на растения проявляется начиная с концентрации  $500 \text{ мкг/м}^3$ .

- Повреждения различают в зависимости от концентрации газов и по степени усиления повреждений растений отмечают: скрытые, хронические, острые, катастрофические. При действии газов могут наблюдаться такие необратимые явления, как депигментация, некротизация, дефолиация. Следует учитывать также, что при действии нескольких газов создается синергический эффект, т. е. они вызывают более заметные повреждения при более низких концентрациях. Степень отравления газами зависит от различных метеофакторов: температуры, влажности воздуха и почвы, освещенности и т. д.
- Косвенное влияние загрязнения приводит к уменьшению плодородия почвы, вызывая гибель полезной микрофлоры, отравление корневой системы, нарушение минерального питания. При понижении pH в результате кислотных дождей увеличивается подвижность токсических металлов. До токсичных концентраций накапливаются, например, цинк, свинец, медь.
- Очень сильно страдают от загрязнения хвойные породы: появляется суховершинность, уменьшается длина и увеличивается число хвоинок на побеге, происходит быстрая потеря хвои. У лиственных пород кислые газы вызывают уменьшение размеров и количества листьев, индуцируют появление черт ксероморфности.
- Нарушение роста и развития растений под влиянием вредных газов может снижать устойчивость и к другим неблагоприятным факторам среды: засухе, засолению, понижению температуры. Например, растения, выращенные в атмосфере загрязненного воздуха, легче поражаются ржавчиной, серой гнилью, у них снижается интенсивность образования клубеньков.
- Различают газочувствительные и газоустойчивые растения. Чуткими индикаторами загазованности служат мхи и лишайники. Отметим, что лишайники устойчивы к обезвоживанию, но не к загрязнению, поскольку у них не сформировалось приспособленности к нему в ходе эволюции.
- В результате попадания в атмосферу оксидов серы и азота может происходить закисление осадков и выпадение кислотных дождей. Кислые газы и кислотные дожди нарушают водный режим растений, в результате снижается водность тканей, падает содержание связанной воды, изменяется транспирация. Действие газов приводит к закислению цитоплазмы, изменению работы транспортных систем, повреждению плазмалеммы, мембран хлоропластов и других клеточных структур. Вследствие повреждения мембран хлоропластов снижается интенсивность фотосинтеза, разрушается хлорофилл *a* и каротиноиды, в меньшей степени хлорофилл *b* и ксантофиллы. Особенно ядовитым для фотосинтеза считается сернистый газ, который лучше растворяется в воде, чем углекислота. Этот газ относят к фотосинтетическим ядам. Интенсивность дыхания вначале повышается, а затем, по мере усиления повреждения и отсутствия поставки субстратов в следствия нарушения фотосинтеза, снижается.
- При действии газообразных веществ инактивируется транспорт электронов и всех окислительно-восстановительных ферментов. Нарушается фосфорный обмен, неблагоприятные сдвиги происходят в минеральном обмене. Усиливаются свободно-радикальные процессы, особенно под влиянием озона. В результате фотолиза озона образуются активные супероксид-анион-радикалы, которые могут даже повреждать белки и нуклеиновые кислоты, вызывать мутации, разрушать липиды в результате их перекисного окисления. Озон повреждает мембраны тилакоидов хлоропластов, разрушает РБФ-декарбоксилазу, ингибирует фотосинтез.
- Вообще, растения по газоустойчивости делятся на три группы: устойчивые, среднеустойчивые и неустойчивые. Наиболее устойчивые к SO<sub>2</sub> древесные породы (вяз, жимолость, лох, клен) оказались устойчивыми и к хлору, фтору, диоксиду азота. Неустойчивыми оказались липа и каштан.
- На степень газоустойчивости растений влияет их обеспеченность минеральными элементами. Внесение минеральных удобрений (азот, калий, фосфор) снижает повреждаемость деревьев, особенно липы, каштана, тополя. Замачивание семян в слабых растворах соляной и серной кислот повышает устойчивость растений к кислым газам.



- Биологические механизмы устойчивости связаны с межродовым и межвидовым разнообразием. Например, крестоцветные более устойчивы, чем бобовые, из бобовых фасоль более устойчива, чем клевер, соя и т. д.
- Древесные растения (вяз, жимолость, клен) менее устойчивы по отношению к хлору, фтору, закиси азота, чем травянистые. У цветковых повреждаемость листьев зависит даже от их положения на побеге. Эфемеры, отличающиеся интенсивным обменом веществ и коротким вегетативным периодом, относятся к неустойчивым. Виды с более длительным вегетативным периодом лучше переносят условия загазованности. Культурным растениям свойственна большая чувствительность к загрязнению атмосферы по сравнению с дикими видами. Газоустойчивость зависит и от фазы развития, интенсивности роста, возраста растений, положения видов в эволюционной системе, от их эколого-географического происхождения и экологической пластичности.
- Анатомо-морфологические признаки, способствующие повышению газоустойчивости, – это мощная кутикула, дополнительные восковые покровы, опушение, меньшая вентилируемость губчатой паренхимы, 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 к загазованности. У  $C_4$ -растений клетки обкладки проводящих пучков создают барьер, препятствующий воздействию  $CO_2$  на загрузку флоэмы ассимилятами.
- Физиолого-биохимические приспособительные механизмы включают регулирование поступления газов, поддержание буферности цитоплазмы и ее ионного баланса, детоксикацию образующихся ядов. Регуляция поглощения газов определяется, прежде всего, чувствительностью устьиц. Под влиянием газов (особенно сернистого) растения газоустойчивых видов сами закрывают устьица. Например, у растений приспособленных видов при повышении концентрации газов степень открытости устьиц уменьшается на 40 %, а у неприспособленных только на 11 %.
- Поддержание ионного баланса и буферных свойств цитоплазмы может быть связано с уровнем в клетках катионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ), способных нейтрализовать ангидриды кислот. Обычно растения, устойчивые к засухе, засолению и некоторым другим подобным воздействиям, 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.
- 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. У хвойных повышение уровня сернистого газа приводит к увеличению содержания эфирных масел в хвое. В условиях загазованности подобное обезвреживание ядовитых газов способствует поддержанию фотосинтеза и синтеза в целом на достаточно высоком уровне. У газоустойчивых растений обеспечивается сбалансированность фотосинтеза и оттока ассимилятов. 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. При низкой концентрации эффективно обезвреживается и бисульфит, тогда сернистый газ может рассматриваться как источник серы для растения.

- Под *биологической газоустойчивостью* следует понимать зависимость устойчивости растений от биологических особенностей (фазы роста и развития, скорости роста, наличия критических периодов), систематического положения и географического происхождения, светолюбия и др.
- *Анатомо-морфологическая устойчивость* связана с особенностями строения растений. Скорость поглощения газов зависит от числа устьиц, динамики их движения (степени открытия) в течение суток, толщины кутикулы, эпидермиса, толщины губчатой ткани, отношения высоты палисадной ткани к высоте губчатой и объема полостей в губчатой паренхиме.
- *Физиолого-биохимическая устойчивость* определяется индивидуальными особенностями метаболизма растений, скоростью протекания биохимических реакций, способностью утилизировать ядовитые вещества, связывать их белками цитоплазмы и т.д.

- Газоустойчивость - способность сохранять свойственные организму процессы жизнедеятельности и семенного воспроизводства в условиях загрязнения газами и парами атмосферного воздуха. Уровень газоустойчивости вида или особи оценивается по предельным концентрациям токсичного вещества, которые не вызывают функциональных и структурных нарушений в организме в период наивысшей физиологической активности и чувствительности к действующим атмосферным примесям.
- Газочувствительность - реакция организма на воздействие загрязняющего вещества в конкретный период его развития.
- Выделяют следующие формы газоустойчивости:
- *Анатомическая.* К приспособлениям, снижающим воздействие токсичных газов, относятся: ксероформные признаки - утолщение эпидермиса, развитие кутикулы, воскового налета, опушения, плотное сложение тканей, наличие пробкового слоя при слабом развитии аэренхимы.
- *Физиологическая.* Включает изменения в фотосинтезе, дыхании, работе устьиц и изменение интенсивности транспирации, снижение интенсивности газообмена.
- *Биохимическая.* Объединяет те особенности метаболизма, которые затрудняют или исключают повреждаемость ферментных систем, белкового и других обменов. Буферность цитоплазмы по отношению к подкисляющему действию сернистого газа, бесхлорофильность тканей.
- *Габитуальная.* Включает особенности строения кроны, ветвления и высоты, надземных частей, уменьшающих контакт листьев и цветков с токсичными газами. Образование подушкообразных форм, пирамидальных крон деревьев.
- *Феноритмическая.* Смещение и изменения в ходе фенологических фаз, преждевременное пожелтение и опадение листвы.
- *Анабиотическая.* Представляет крайний случай физиологической газоустойчивости. К числу признаков этой формы относятся резкое сокращение газообмена и значительные анатомические изменения у зимующих видов деревьев и кустарников.
- *Регенерационная.* Способность повторного облиствления и отрастания надземной фитомассы.
- *Популяционная.* Включает изменения возрастного состава, модификации особей, полиморфизм.
- *Фитоценотическая.* Объединяет признаки растительных сообществ, снижающие токсичное воздействие газов: структура ярусов, густота насаждений, особенности горизонтального и вертикального строения фитоценозов.

- *Биологические особенности, снижающие, газочувствительность.* Поглощение токсичных газов является функцией градиента концентраций, направленных от поверхности внутрь листа, и сопротивления к токсикантам. Сопротивление, в свою очередь, складывается из:
  - *аэродинамического* - особенностей структуры кроны, расположения ветвей и листьев, наличия опушения надземной массы и др.;
  - *кутикулярного* - развития мощных покровных тканей, препятствующих проникновению поллютантов;
  - *устьичного* - подвядания листьев, снижающего повреждаемость тканей;
  - *внутреннего* - плотной структуры тканей, биохимической устойчивости к загрязняющему веществу.
- Снижению газочувствительности способствует ксероморфная структура - плотное сложение тканей, образование мощных покровных тканей, развитие кутикулы, воскового налета и т.д.
-



- Основными индикаторными признаками, отражающими стрессовую нагрузку, являются:
- 1. Изменение активности ферментов.
- 2. Разрушение пигментов в листьях растений под действием аэротехногенного загрязнения. Хорошо изучено снижение количества хлорофилла, прежде всего хлорофилла а. В качестве индикатора используется изменение соотношения хлорофилл а/хлорофилл в.
- 3. Изменение количества и соотношения каротиноидов.
- 4. Преждевременное появление гормонов старения - этилена и абсцизовой кислоты.
- 5. Изменение минерального обмена. Индикаторными признаками являются изменение содержания жирных кислот, увеличение содержания сахарозы и глюкозы.
- 4. Неспецифическая и специфическая индикация

| Поллютанты                          | Биоиндикаторы                                                                            | Симптомы                                                            |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Фтористый водород HF                | Гладиолус, тюльпан, петрушка кудрявая                                                    | Некрозы верхушек и краев листьев. Накопление фтора в сухом веществе |
|                                     | Пчела медоносная                                                                         | Заболевание и гибель                                                |
| Озон O <sub>3</sub>                 | Табак, шпинат                                                                            | Некроз на верхней стороне листа                                     |
| ПАН                                 | Крапива жгучая, мятлик однолетний                                                        | Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев                        |
| Двуокись серы SO <sub>2</sub>       | Люцерна, гречиха, подорожник большой, горох, клевер                                      | Межилковые хлорозы и некрозы                                        |
|                                     | Зеленая водоросль.                                                                       | Нарушение энергетического баланса, уменьшение АТФ и увеличение АМФ  |
|                                     | Тля                                                                                      | Уменьшение малатдегид-рогеназы                                      |
| Двуокись азота NO <sub>2</sub>      | Личинки синей мухи красноглазой                                                          | Увеличение смертности                                               |
|                                     | Шпинат, махорка, сельдерей                                                               | Межилковые некрозы                                                  |
| Крыса                               | Пероксидация липидов легочной ткани                                                      |                                                                     |
| Хлор Cl <sub>2</sub>                | Личинки синей мухи красноглазой                                                          | Повышение смертности личинок                                        |
| Шпинат                              | Побледнение листьев                                                                      |                                                                     |
| Фасоль, салат                       | Деформация хлоропластов                                                                  |                                                                     |
| Сочетание вредных веществ в воздухе | Выводковые почки                                                                         | Уменьшение прироста клеток                                          |
| Листовые и кустистые лишайники      | Снижение содержания хлорофиллов «а» и «б», уменьшение содержания живых клеток водорослей |                                                                     |
| Пихта, ель, сосна                   | Снижение содержания хлорофиллов «а» «б», уменьшение возраста игл и задержка роста        |                                                                     |

Спасибо за