

СТРЕСС У РАСТЕНИЙ:
ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СТРЕССОВЫХ
РЕАКЦИЙ И МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ К
СТРЕССОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Неблагоприятные факторы — все внешние воздействия, ограничивающие синтез и накопление органических веществ в растениях

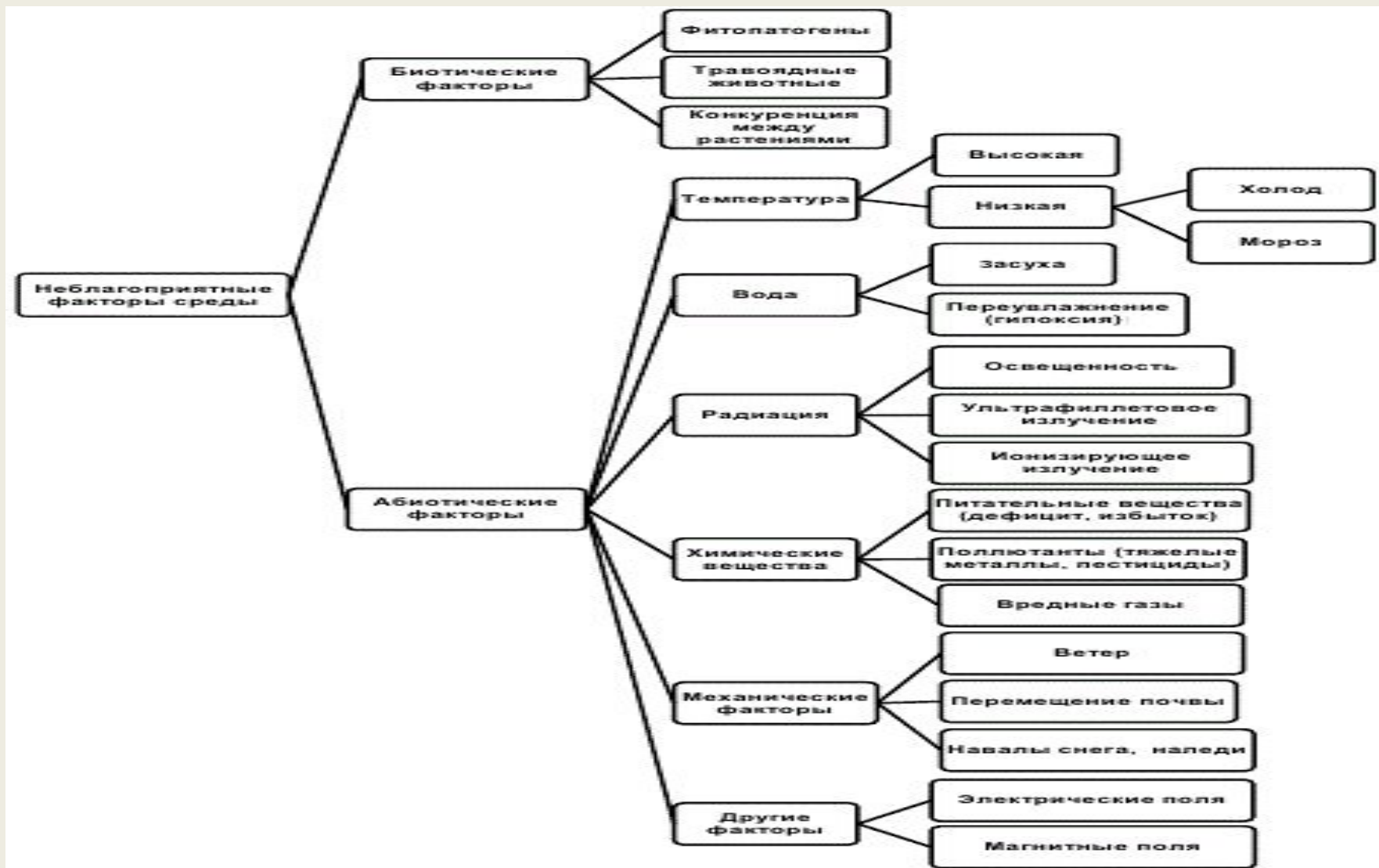
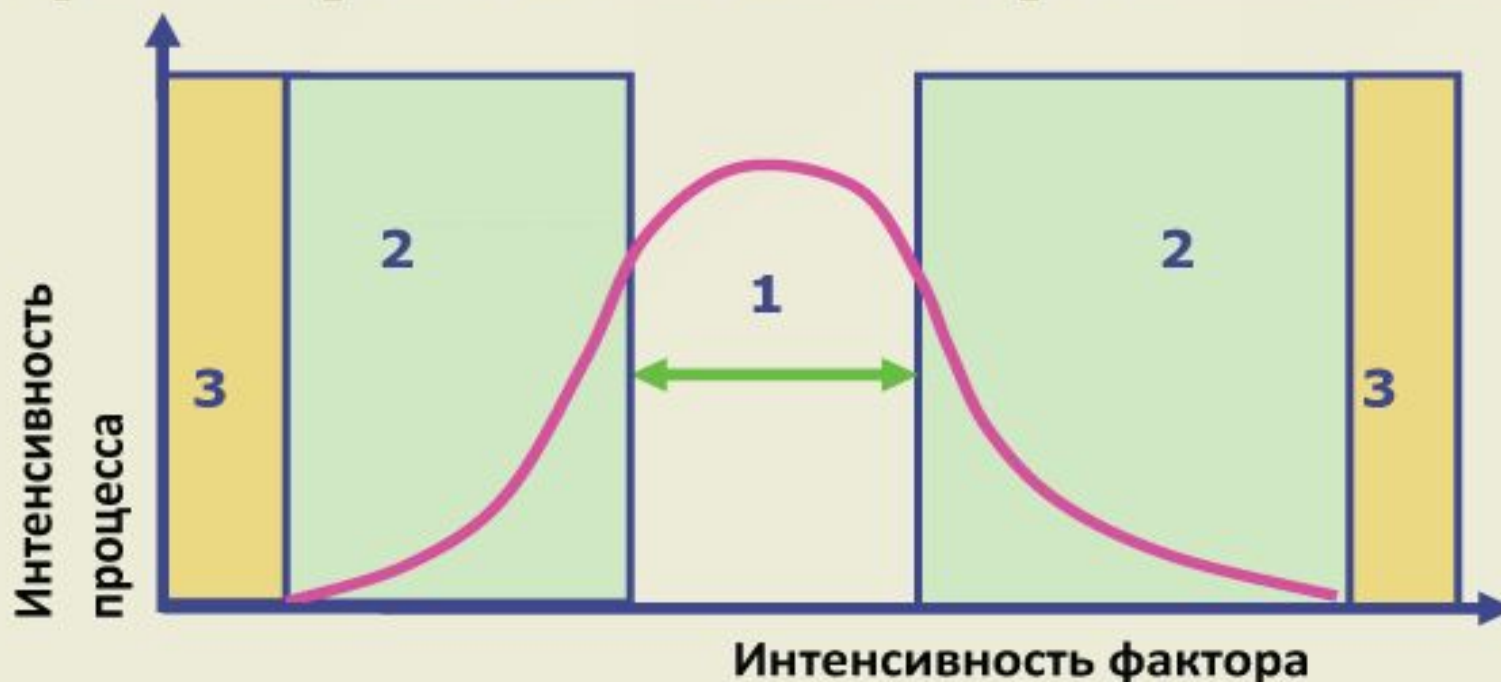
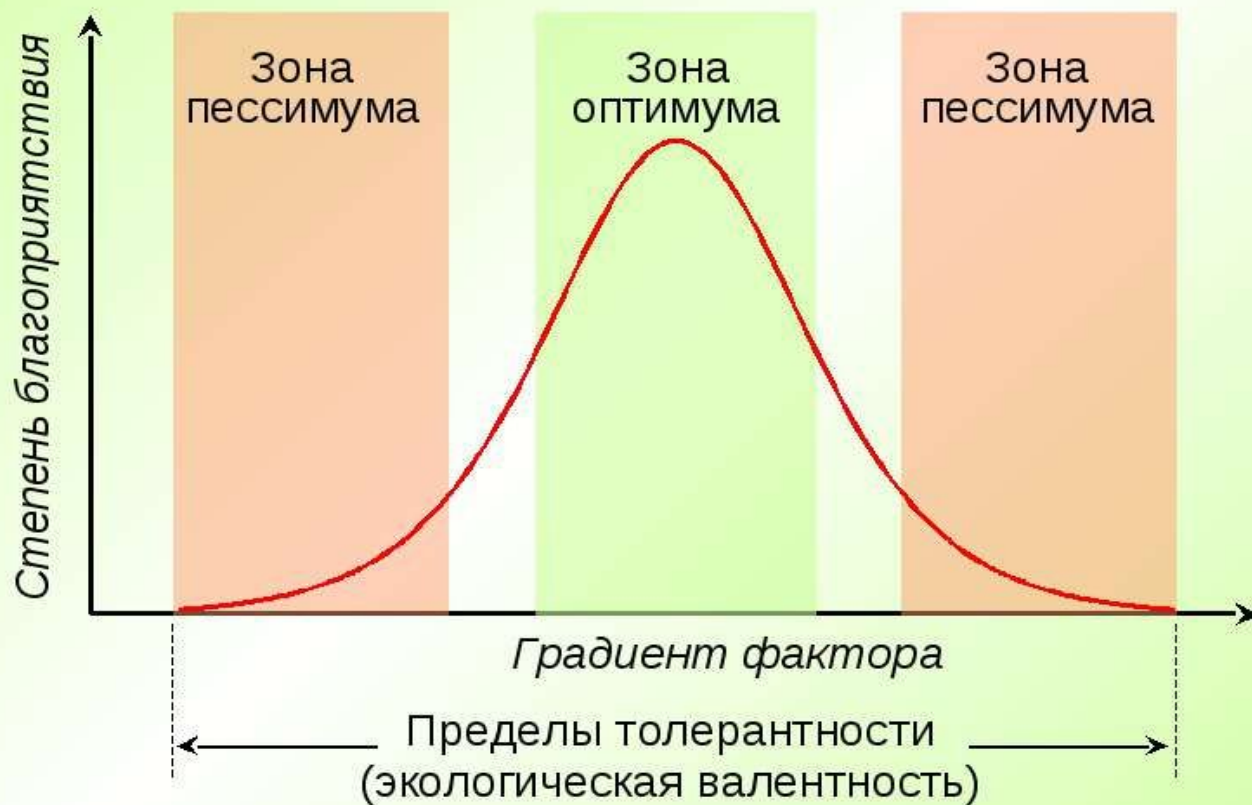


Схема действия экологического фактора на живые организмы:



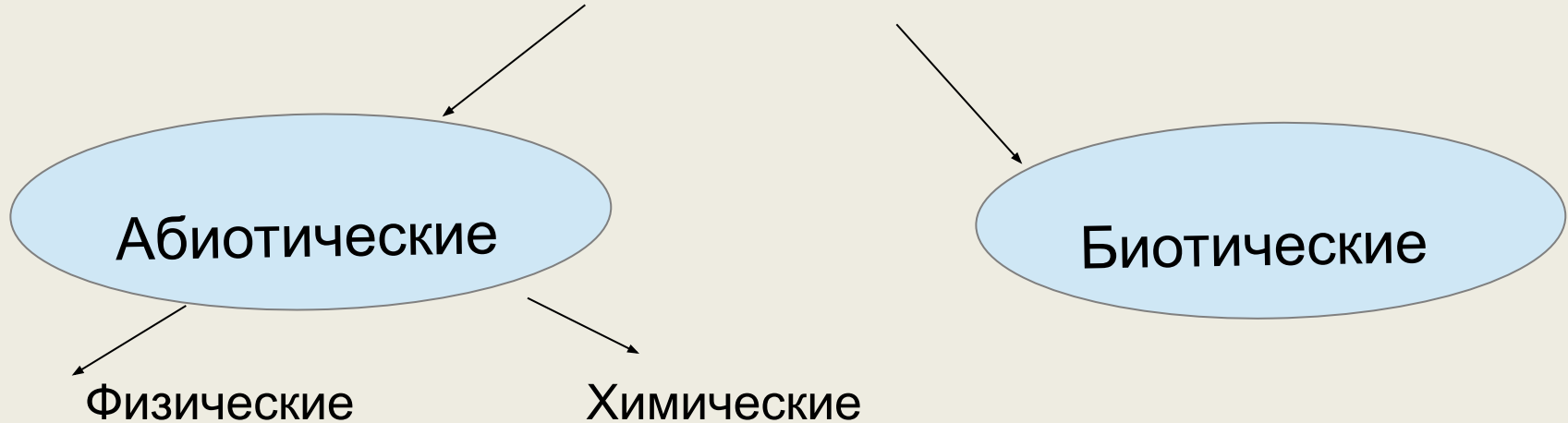
- 1 – зона нормальной жизнедеятельности,**
- 2 – зона пониженной жизнедеятельности,**
- 3 – зона гибели**

Закон оптимума



Сильно действующий фактор внешней среды, способный вызвать в организме повреждение или даже привести к гибели, называют **стрессовым фактором**, или **стрессором**.

СТРЕССОРЫ



Стресс: от англ. «stress» – напряжение , ЭТО совокупность всех неспецифических изменений, возникающих в организме в ответ на любые сильные воздействия

При стрессе происходит перестройка защитных сил организма. Считается, что главная роль стресса – мобилизация сил организма в критической ситуации.

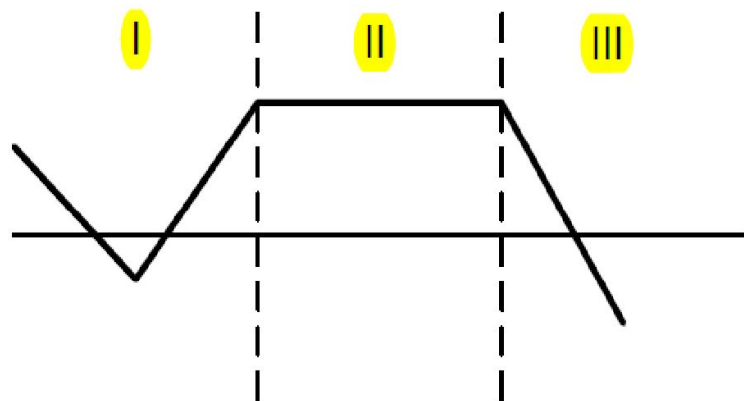


Рис. 1. «Триада» Селье

Автор теории стресса – канадский эндокринолог **Ганс Селье** (1936 г.) предложил графическую модель хода ответных реакций организма животного и человека на стрессовое воздействие (триада Селье)

I – фаза тревоги
II – фаза адаптации (резистентности)
III – фаза истощения

Приложение теории стресса к растениям:

Наблюдаемый при стрессовом воздействии комплекс метаболических перестроек у растений называется **фитострессом** (Генкель, 1982 г)

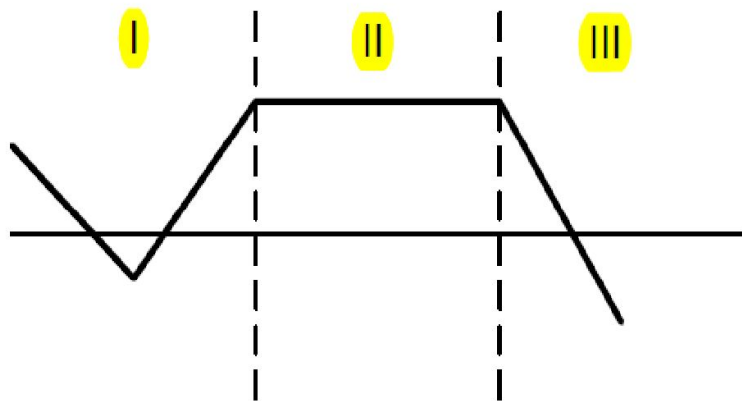


Рис. 1. «Триада» Селье

Фазы триады Селье для растений получили следующие названия:

I – первичная индуктивная стрессовая реакция;
II - фаза адаптации;
III – истощение ресурсов надёжности

Что происходит на первой фазе?

Увеличивается проницаемость клеточных мембран: из клетки выходят ионы калия и, наоборот, из клеточной стенки в протоплазму мигрируют ионы кальция, снижается рН цитоплазмы (закисление цитоплазмы), усиливаются процессы распада полимеров

Тормозится синтез обычных белков и начинается синтез особых «стрессорных» белков увеличивается вязкость цитоплазмы,

- **Вследствие изменения структуры белковых веществ происходит торможение фотосинтеза**

Дыхание сначала активизируется, а затем ингибируется, снижается уровень АТФ торможение роста и деления клеток,

Увеличивается продукция гормонов стресса – абсцизовой и жасмоновой кислот, этилена, а **количество гормонов, стимулирующих рост** (ауксина, цитокинина, гибберелинов) - **снижается**.

Т.е. в клетках накапливаются продукты распада (**катаболизм, катаболические реакции**) происходят серьезные отклонения в физиолого-биохимических процессах, что у растений проявляется как симптомы повреждения, так и защитные реакции, которые направлены на устранение повреждений. В случае, если стрессорное воздействие слишком велико, растение может погибнуть в этой фазе развития стресса.

Если растение уцелело, наступает вторая фаза, в которой растение либо адаптируется к новым условиям, либо повреждения в нем усиливаются

Что происходит на второй фазе?

У растений на основании изменений, произошедших во время первой фазы, включаются главные механизмы адаптации, которые характеризуются снижением активности гидролитических и катаболитических реакций и усилением процесса синтеза

- клетки начинают удерживать больше воды (накопленный на первой фазе пролин взаимодействует с остатками гидрофильных белков и увеличивает их растворимость), что повышает жизнеспособность растений в условиях засухи, засоления, высокой температуры;
- образующиеся при распаде органических азотистых соединений полиамины способствуют снижению проницаемости мембран, ингибированию протеазной активности, снижению процессов перекисного окисления липидов, регуляции pH;
- происходит стабилизация мембран, в результате чего восстанавливается ионный транспорт;
- повышаются активность функционирования митохондрий, хлоропластов и уровень энергообеспечения;
- снижается генерация активных форм кислорода;

Что происходит на третьей фазе?

В период **третьей фазы** (*фазы истощения*) в условиях возрастания силы воздействия и постепенного истощения возможностей защиты организма при действии различных агентов разрушаются клеточные структуры

- наблюдается деструкция ядра
- в хлоропластах происходит распад гранул,
- в митохондриях уменьшается количество крист.
- появляются дополнительные вакуоли, где обезвреживаются токсические вещества, образующиеся в результате изменений обмена в стрессовых условиях.

Нарушение ультраструктуры основных энергетических генераторов – митохондрий и хлоропластов приводит к энергетическому истощению клетки, это влечет за собой сдвиги физико-химического состояния цитоплазмы. Эти сдвиги свидетельствуют о сильных, часто необратимых повреждениях клетки.

Специфические и неспецифические стрессовые реакции

Если в ответ на действие стрессора возникают реакции, характерные для этого конкретного стрессора мы имеем дело с проявлением *специфической реакции*.



← Пожелтение листьев (хлороз) при несбалансированном минеральном питании.

Примерами последствий реакций специфического характера также являются:

- разрастание корневой шейки при затоплении корней;
- усиление транспирации при засухе;
- синтез определённых стрессовых белков (металлотионеинов и фитохелатинов) при действии ТМ.

Большинство же наблюдаемых при стрессе реакций имеют **неспецифический характер**. Механизмы реагирования живой системы на внешние воздействия подвергались в процессе эволюции естественному отбору и поэтому биохимическая стратегия адаптации растительной клетки должна быть однотипной и рациональной.

Визуальные признаки стресса одинаковые - но причины разные



Дефицит кальция



Гербицидный стресс

Таким образом, **стресс у растения** – это интегральный (т.е. единый) ответ растительного организма на повреждающее действие, направленный на собственное выживание за счет мобилизации и формирования защитных систем.

Общие представления об устойчивости растений

Способность растения переносить действие неблагоприятных факторов и давать в таких условиях потомство называется **устойчивостью** или **стресс-толерантностью**.

Устойчивость достигается благодаря способности растений сохранять постоянство внутренней среды (*гомеостаз*) и осуществлять жизненный цикл в условиях действия стрессоров

Важную роль в устойчивости растений к действию стрессоров играет **адаптация** (от лат. *adaptatio* – приспособление). Адаптация является одним из важнейших механизмов, который повышает устойчивость биологической системы в изменившихся условиях существования. Чем лучше организм адаптирован к какому-то фактору, тем он устойчивее к его колебаниям.

Адаптация растений к действию стрессовых факторов

Под **адаптацией** понимается способность растений приспосабливаться к конкретным условиям окружающей среды в местах их обитания: температурным колебаниям, составу атмосферы и почвы, количеству влаги в них, освещенности, биотическому окружению.

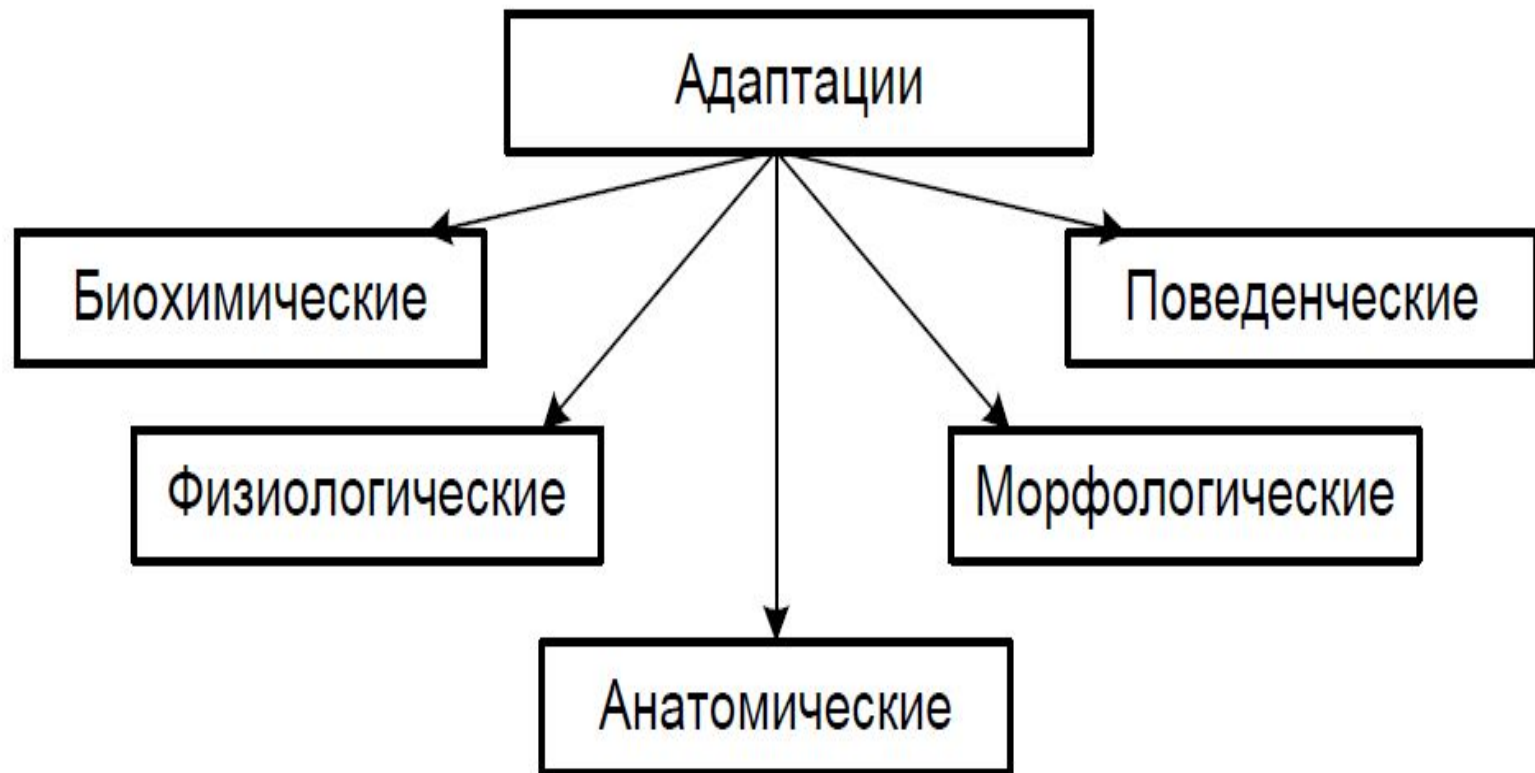
РАЗЛИЧАЮТ

Генетическую
адаптацию
определённого
вида растения

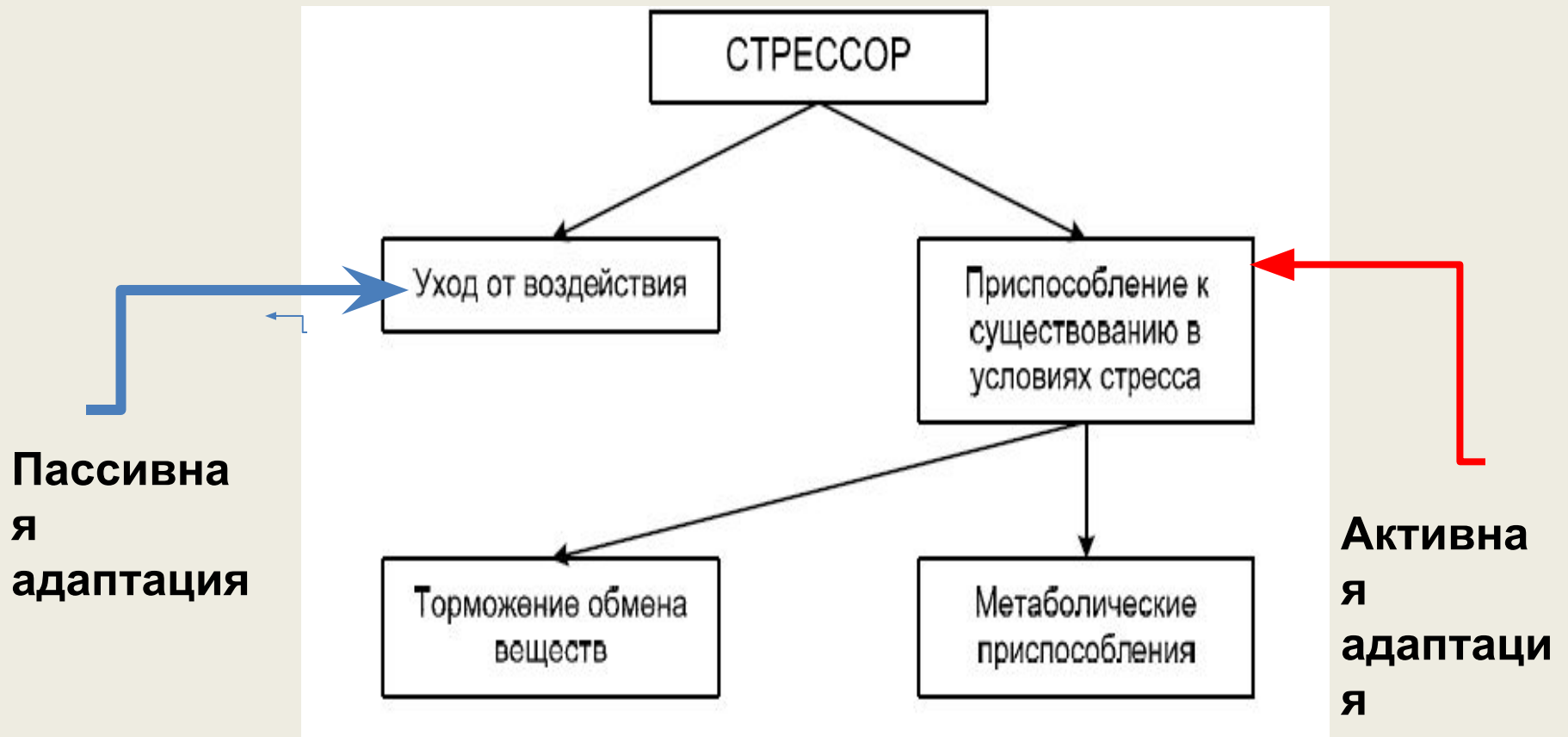
Физиологическую
адаптацию
конкретной особи
определённого вида
растения

Каждое конкретное растение обладает способностью адаптироваться к условиям обитания только в пределах, обусловленных его генотипом

Типы адаптаций в зависимости от природы процессов, способствующих формированию устойчивости



Адаптация растений к действию стрессовых факторов



Поведенческие адаптации: особенности жизненной стратегии, с помощью которых удаётся избежать неблагоприятных условий.



Хохлатка плотная:
цветёт в апреле-мае

Так, *эфемероиды* впадают в длительное состояние покоя, вегетируя лишь в краткий влажный и теплый период.

Для нормальной продуктивности фотосинтеза у растений этого вида необходима освещенность более 50% от полной. Образование хлорофилла начинается при 0°.

Листья хохлатки плотной лишены всяких приспособлений, уменьшающих испарение: кутикула слабо развита, опушение отсутствует. Но при ранней вегетации растение не испытывает недостатка влаги. Содержание воды в листьях составляет 90,9% от сырого веса листа.

Анатомические и морфологические адаптации



Листья **хохлатки плотной** лишены всяких приспособлений, уменьшающих испарение: кутикула слабо развита, опушение отсутствует. Палисадная паренхима представлена одним слоем клеток небольшой толщины, губчатая паренхима рыхлая с крупными межклетниками. Устьица расположены на обеих сторонах листа, Механическая ткань слабо развита

Физиологические адаптации



Хохлатка плотная отличается высокой интенсивностью дыхания. В дневные часы при 14—20° оно достигает 1,4—2,0 мг CO₂ на 1 г сырого веса в час. Наиболее интенсивное дыхание отмечено в начале вегетации, наиболее интенсивный фотосинтез — в конце вегетации.

Активная деятельность корневой системы наблюдается даже при низкой температуре. В течение периода вегетации оводненность листьев держится на высоком уровне, затем стремительно падает в связи с увяданием. С появлением новых придаточных корней влажность клубней достигает 65%. Высокая влажность клубней сохраняется в течение всей зимы и связана с поступлением воды в корни в зимнее время.

Анатомические и морфологические адаптации



кожистые листья обеспечивают хорошую адаптацию к низкой влажности.

Анатомические и морфологические адаптации

Виды адаптаций у растений

- Высокие температуры



Опушенные листья



Узкие листья злаков



Короткий вегетационный период

Анатомо-морфологические адаптации газонных растений

Утолщение листовой
пластинки

Утолщение эпидермиса

Утолщение мезофилла

Увеличение числа
устьиц на единицу
поверхности листа

Уменьшение высоты побега

Уменьшение количества
листьев на побеге

Уменьшение линейных
размеров листьев

Уменьшение числа
генеративных побегов

Уменьшение общей
биомассы

Биохимические адаптации

Важнейшей реакцией клеток на действие стрессоров является синтез особых белков. **Стрессовые белки** синтезируются в растениях в ответ на различные воздействия: повышенные и пониженные температуры, обезвоживание, высокие концентрации солей, действие тяжелых металлов, вредителей, а также при ранениях и ультрафиолетовой радиации. В настоящее время обнаружено, что при каждом из этих стрессов синтезируются как общие, так и специальные для каждого из них белки. Выяснилось, что уже через 15 мин после начала воздействия стресс-фактора (например, теплового) в клетках обнаруживаются стрессовые белки. Стрессовые белки разнообразны и образуют группы высокомолекулярных и низкомолекулярных белков. Защитная роль стрессовых белков в растении подтверждается фактами гибели клетки при введении ингибиторов (блокираторов) синтеза белка в период действия стрессора.

Биохимические адаптации

Важнейшей реакцией на неблагоприятные воздействия является также изменение свойств мембран, что связано с перестройками в их структуре. Увеличивается вязкость цитоплазмы, наблюдается торможение деления и роста клеток. Вырабатывается вещество ***пролин***, осмотически активное низкомолекулярное вещество, образующее гидрофильные коллоиды, удерживающее воду и защищающее растительные белки от разрушения (при засухе, избытке солей, низкой или высокой температурах).

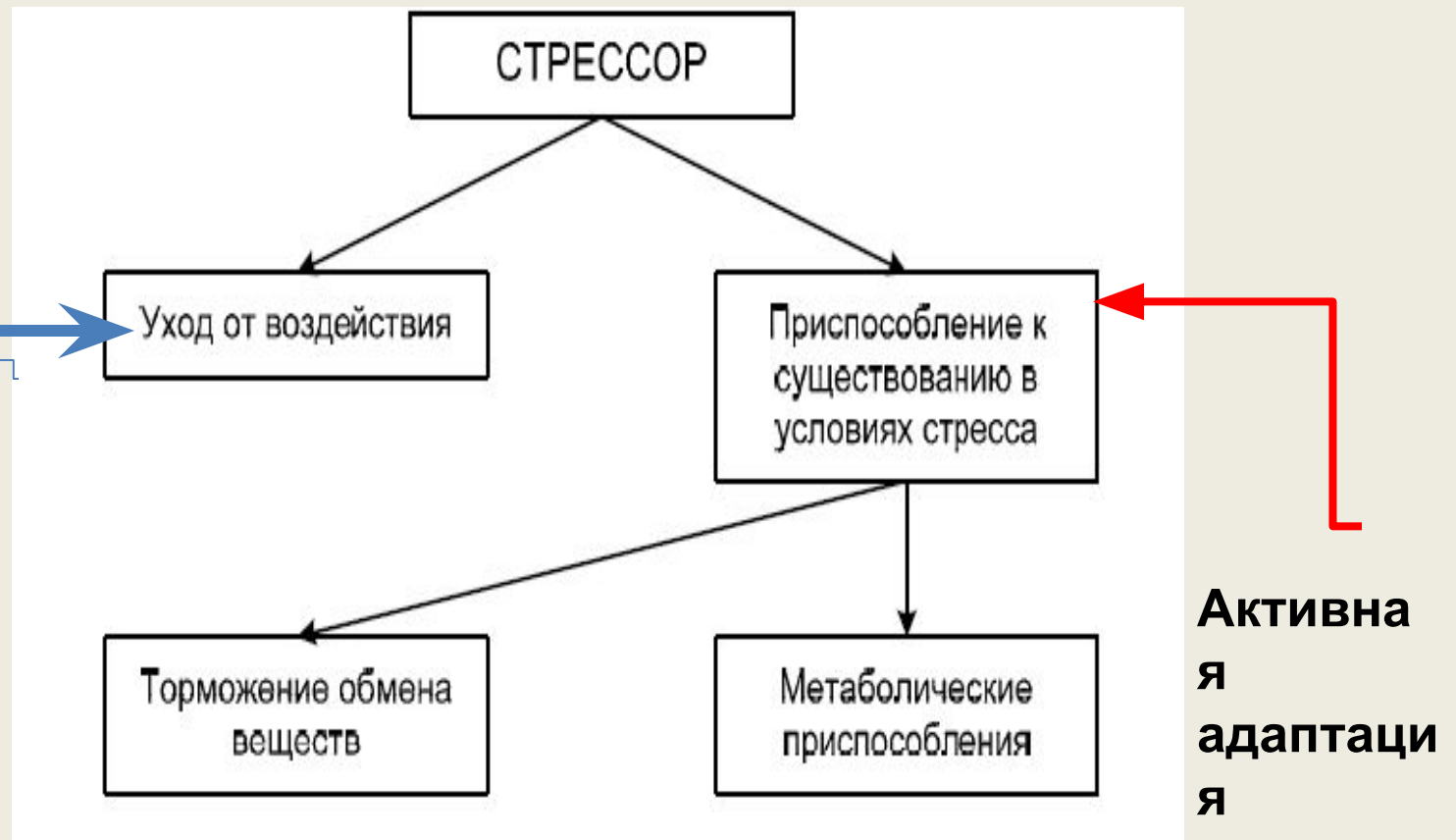
В ситуации стресса растения вырабатывают также специфические ***сахара, полиамины, беатины, токсины***.

На состояние стресса реагирует гормональная система растений: возрастает количество ***абсцизовой кислоты, этилена, жасмоновой кислоты***, изменяется соотношение ***фитогормонов***. Увеличивается выработка гормонов, приводящих к торможению роста растения и вхождению его в состояние покоя.

Физиологические адаптации

Механизмы адаптации, свойственные клетке, дополняются новыми реакциями. Они основываются на конкурентных отношениях между органами за физиологически активные и питательные вещества. Такой механизм позволяет растению формировать в условиях стресса минимальное количество генеративных органов, которые могут быть обеспечены необходимыми веществами для созревания. Благодаря переброске питательных веществ из нижних листьев сохраняются жизнеспособными более молодые – верхние.

Адаптация растений к действию стрессовых факторов



На популяционном уровне адаптация выражается в сохранении только тех индивидуумов, которые обладают широким диапазоном реакций на экстремальный фактор и, оказавшись генетически более успешными, способны дать потомство. В стрессовую реакцию включается естественный отбор, в результате которого появляются более приспособленные организмы и новые виды.



Сосны, поражённые в молодом возрасте смоляным раком-серянкой (ул. Верейская, г. Москва)

ИТАК:

- Растения в природе постоянно подвергаются воздействию различных факторов внешней среды.

- Растения приспособлены к смене режимов (сила и длительность воздействия) действия как отдельных факторов, так и комплекса факторов, с которыми растительный организм находится в непрерывном взаимодействии на протяжении всего онтогенеза. В условиях изменения режима воздействия отдельных факторов или комплекса факторов растительный организм способен к саморегуляции протекающих в нём процессов. Этот эффект достигается за счёт механизма адаптаций.

- Если сила действия фактора среды такова, что организму угрожает повреждение или гибель, то такой фактор называется **стрессором**. В ответ на действие стрессора происходит мобилизация защитных сил организма – так называемые **неспецифические реакции**. Эта ответная реакция растительного организма, направленная на его выживание за счёт перестройки защитных сил называется **стрессом**.

- Способность растения переносить действие неблагоприятных факторов и давать в таких условиях потомство называется **устойчивостью** или **стресс-толерантностью**.

Основой для проявления стресс-устойчивости служат эволюционно-выработанные механизмы природных адаптаций