

A photograph of a nuclear power plant with two large, grey, hourglass-shaped cooling towers. The towers are situated on a concrete island in a body of water. The towers and the surrounding industrial structures are reflected in the calm water. The sky is a clear, pale blue. The text 'Действие на растения радиации' is overlaid in the center of the image in a bright green, bold font.

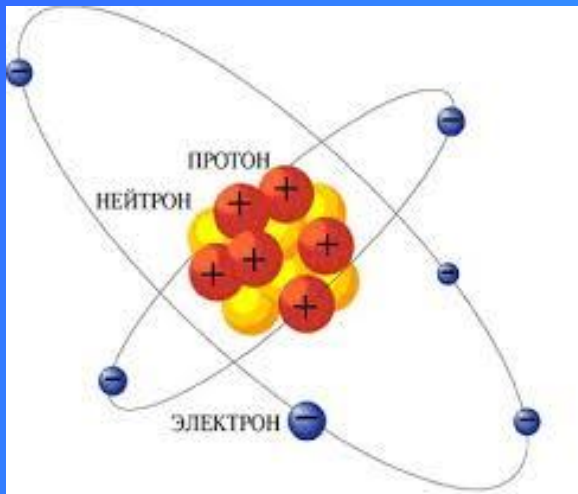
# Действие на растения радиации

**Радиоактивность** – это самопроизвольный распад атомных ядер некоторых элементов, приводящий к изменению их атомного номера и массового числа

**Ионизирующие излучения** – любые излучения, взаимодействия которых со средой приводят к образованию электрических зарядов разных знаков. Видимый свет и ультрафиолетовое излучение к ионизирующим излучениям не относятся

# Типы ионизирующих излучений

- **альфа ( $\alpha$ )**-поток положительно заряженных частиц (атомов гелия), движущихся со скоростью около 20000 км/с
- **бета ( $\beta$ )**-поток отрицательно заряженных частиц (электронов), движущихся со скоростью света
- **гамма ( $\gamma$ )**-излучение – коротковолновое магнитное излучение, близкое по свойствам к рентгеновскому. Распространяется со скоростью света, в магнитном поле не отклоняется, характеризуется высокой энергией – от нескольких тысяч до нескольких миллионов электрон-вольт
- **рентгеновское излучение**, как и  $\gamma$ -излучение, не имеет массы и электрического заряда.  $\gamma$ -лучи испускаются ядром, обычно в комбинации с  $\alpha$ - или  $\beta$ -эмиссией, в то время как рентгеновские лучи исходят от электронной оболочки.  $\gamma$ - и рентгеновские лучи имеют короткие длины волн и высокую проникающую способность

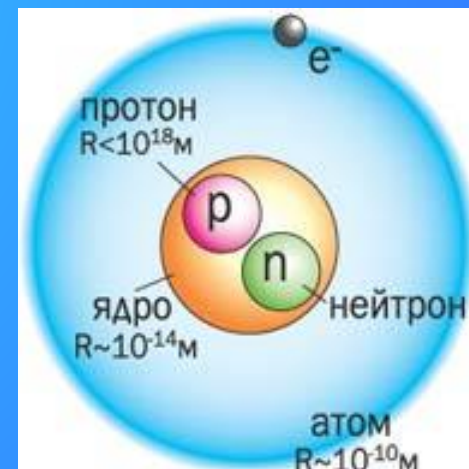


Атом состоит из ядра и окружающего его электронного "облака".

Находящиеся в электронном облаке электроны несут отрицательный электрический заряд. Протоны, входящие в состав ядра, несут положительный заряд.

В любом атоме число протонов в ядре в точности равно числу электронов в электронном облаке, поэтому атом в целом – нейтральная частица, не несущая заряда. Атом может потерять один или несколько электронов или наоборот – захватить чужие электроны. В этом случае атом приобретает положительный или отрицательный заряд и называется *ионом*.

Кроме протонов, в состав ядра большинства атомов входят *нейтроны*, не несущие никакого заряда. Масса нейтрона практически не отличается от массы протона. Вместе протоны и нейтроны называются *нуклонами* (от латинского *nucleus* – ядро).



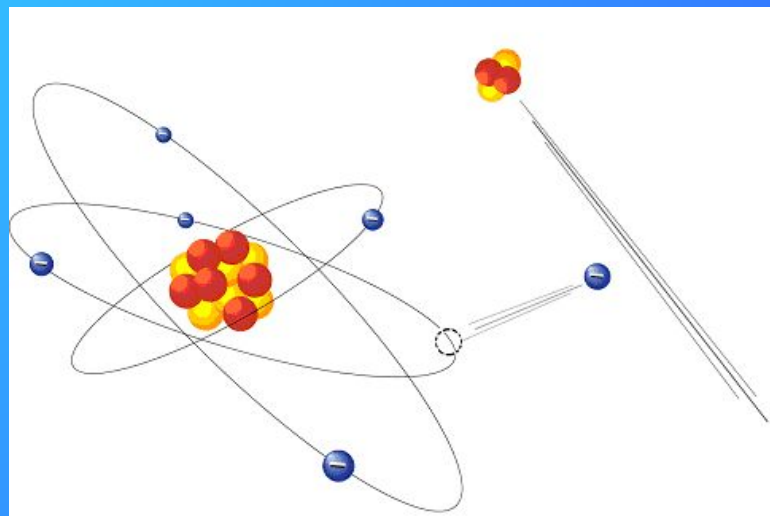
Сумма тяжелых частиц (нейтронов и протонов) в ядре атома какого-либо элемента называется *массовым числом* и обозначается буквой **A**.

$$A = Z + N$$

Здесь **A** – массовое число атома (сумма протонов и нейтронов), **Z** – заряд ядра (число протонов в ядре), **N** – число нейтронов в ядре.

Природа устроена так, что один и тот же элемент может существовать в виде двух или нескольких *изотопов*. Изотопы отличаются друг от друга только числом нейтронов в ядре (числом **N**). Поскольку нейтроны практически не влияют на химические свойства элементов, все изотопы одного и того же элемента химически неотличимы.

Нейтроны выбрасываются элементами, которые распадаются в результате самопроизвольного расщепления. В тканях нейтроны вызывают ионизацию не прямо, а путем выброса протона из ядра водородного атома и путем активации элементов через нейтронный захват, приводя в дальнейшем к  $\gamma$ -излучению.





- **Непосредственно ионизирующие излучение** - излучение заряженных частиц ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и др.), которые, попадая в облучаемую среду, сами ионизируют ее атомы и молекулы
- **Косвенно ионизирующие излучения** (рентгеновское,  $\gamma$ -, нейтронное и др.) сами не производят ионизацию, при попадании в среду они взаимодействуют с атомом (атомным ядром или электронами его оболочки), передают энергию электрону (вторичному электрону) или атомному ядру (ядру отдачи). В дальнейшем ионизацию производят вторичный электрон или ядро отдачи

# Радиационный фон Земли складывается из трех основных компонентов:

- ◆ **космическое излучение**
- ◆ **естественные радионуклиды**, содержащиеся в почве, воде, воздухе и других объектах окружающей среды
- ◆ **искусственные радионуклиды**, образовавшиеся в результате человеческой деятельности (например, при ядерных испытаниях), радиоактивные отходы, отдельные радиоактивные вещества, используемые в медицине, технике, сельском хозяйстве



# КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



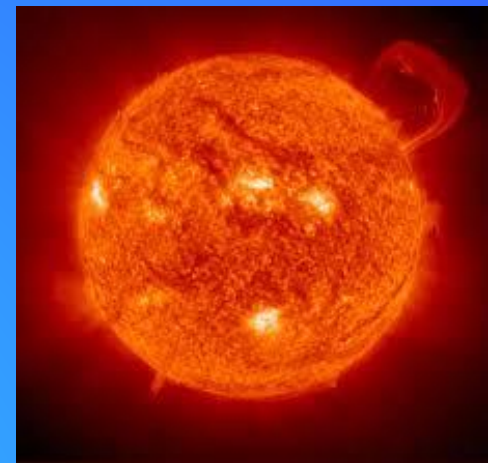
**Первичное излучение включает:**

- **первичное галактическое излучение,**
- **первичное солнечное излучение,**
- **излучение заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли (радиационный пояс Земли).**

**Первичное галактическое излучение состоит на 90% из протонов высоких энергий и на 10% – ионов гелия.**



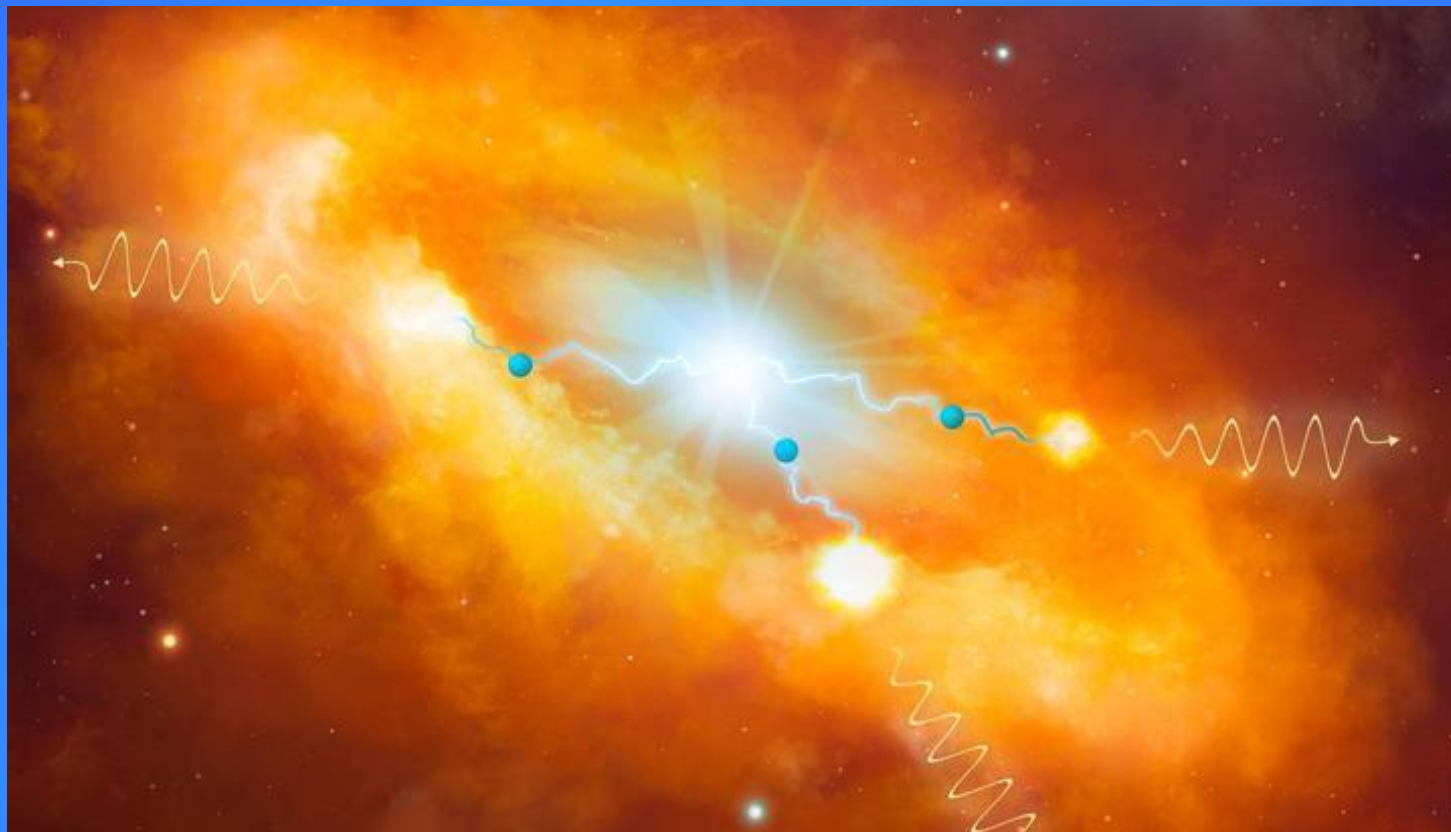
Первичное солнечное излучение происходит в виде вспышек на Солнце, что сопровождается освобождением большого количества энергии в области видимого, ультрафиолетового и рентгеновского спектров излучения. Наиболее сильные вспышки сопровождаются выбросом большого количества заряженных частиц, главным образом протонов и  $\alpha$ -частиц.



Первичное солнечное излучение обладает относительно низкой энергией, поэтому не приводит к существенному увеличению дозы внешнего излучения на поверхности Земли.



Радиационный пояс Земли состоит из протонов и электронов с небольшим содержанием  $\alpha$ -частиц, которые захватываются магнитным полем Земли и двигаются по спирали вокруг его силовых линий.



**Вторичное космическое излучение** является следствием образования космогенных радионуклидов. Последние возникают при взаимодействии частиц вторичного космического излучения с ядрами различных атомов, присутствующих в атмосфере.

## *Естественные радионуклиды*

К естественным радионуклидам относятся космогенные радионуклиды, главным образом  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$  и радионуклиды, присутствующие в объектах окружающей среды с момента образования Земли.

Основным источником облучения человека и загрязнения пищевых продуктов являются  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  – радионуклиды земного происхождения.

## *Искусственные радионуклиды*

Испытание ядерного оружия – один из самых опасных источников радиоактивного загрязнения окружающей среды.



# Основные источники загрязнения окружающей среды искусственными радионуклеидами

- испытание ядерного оружия
- добыча и переработка урановых и ториевых руд
- обогащение урана изотопом  $^{235}\text{U}$ , т.е. получение уранового топлива
- работа ядерных реакторов
- переработка ядерного топлива с целью извлечения радионуклидов для нужд народного хозяйства
- хранение и захоронение радиоактивных отходов

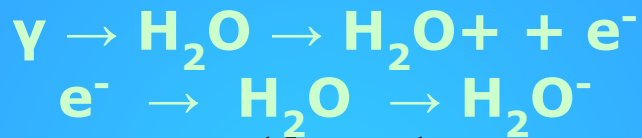
# Прямое повреждающее действие радиации на растения

- ✓ **Состоит в радиационно-химических превращениях молекул в месте поглощения энергии излучения**
- ✓ **Поражающее действие связано с ионизацией молекулы**
- ✓ **Для клетки наиболее опасно нарушение облучением уникальной структуры ДНК**
- ✓ **Происходят разрывы связей сахар-фосфат, дезаминирование азотистых оснований, образование димеров пиримидиновых оснований и т.д.**

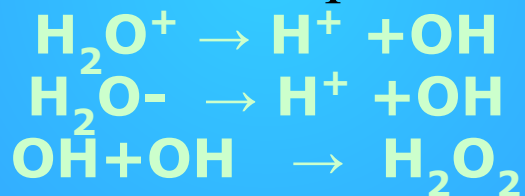


# Непрямое повреждающее действие радиации на растения

Состоит в повреждении молекул, мембран, органоидов, клеток, вызываемых продуктами радиолиза воды. Заряженная частица излучения, взаимодействуя с молекулой воды, вызывает ее ионизацию:



Ионы воды за время жизни  $10^{-15}$ – $10^{-1}$  с способны образовывать химически активные свободные радикалы и пероксиды:



В присутствии растворенного в воде кислорода возникает также мощный окислитель  $\text{HO}_2$  и новые пероксиды



Эти сильные окислители за время жизни  $10^{-6}$ – $10^{-5}$  с могут повредить многие биологические важные молекулы, что также способствует лучевому поражению молекул и структур клетки

**Гормезис** - стимулирующее влияние слабых воздействий на биологические объекты различных агентов, повреждающих при больших дозах

## **Природный радиационный фон участвует**

- в снятии покоя семян
- в увеличении прорастаемости неполноценных семян
- в делении растительных клеток и тем самым в росте и развитии проростков, их лучшем укоренении
- в ускорении синтеза как основных макромолекул растения, так и продуктов вторичного синтеза (хлорофилла, каротиноидов, антоцианов и др.)
- особое значение имеет для тенелюбивых растений, растений Севера, в условиях сокращенного светового дня

# Основные этапы радиационного повреждения клеток и тканей (по Цирклю):

- 1) передача энергии ионизирующего излучения молекулам воды, образование ионов;
- 2) образование свободных радикалов;
- 3) образование пероксидов;
- 4) реакции пероксидов с геном определяющего значения;
- 5) суммирование инактиваций нескольких важных генов, ведущее к изменению состояния генома;
- 6) утрата генами способности контролировать синтез своих продуктов;
- 7) невозможность осуществления митоза.

# Основные этапы радиационного повреждения клеток и тканей (Бак, Александер):

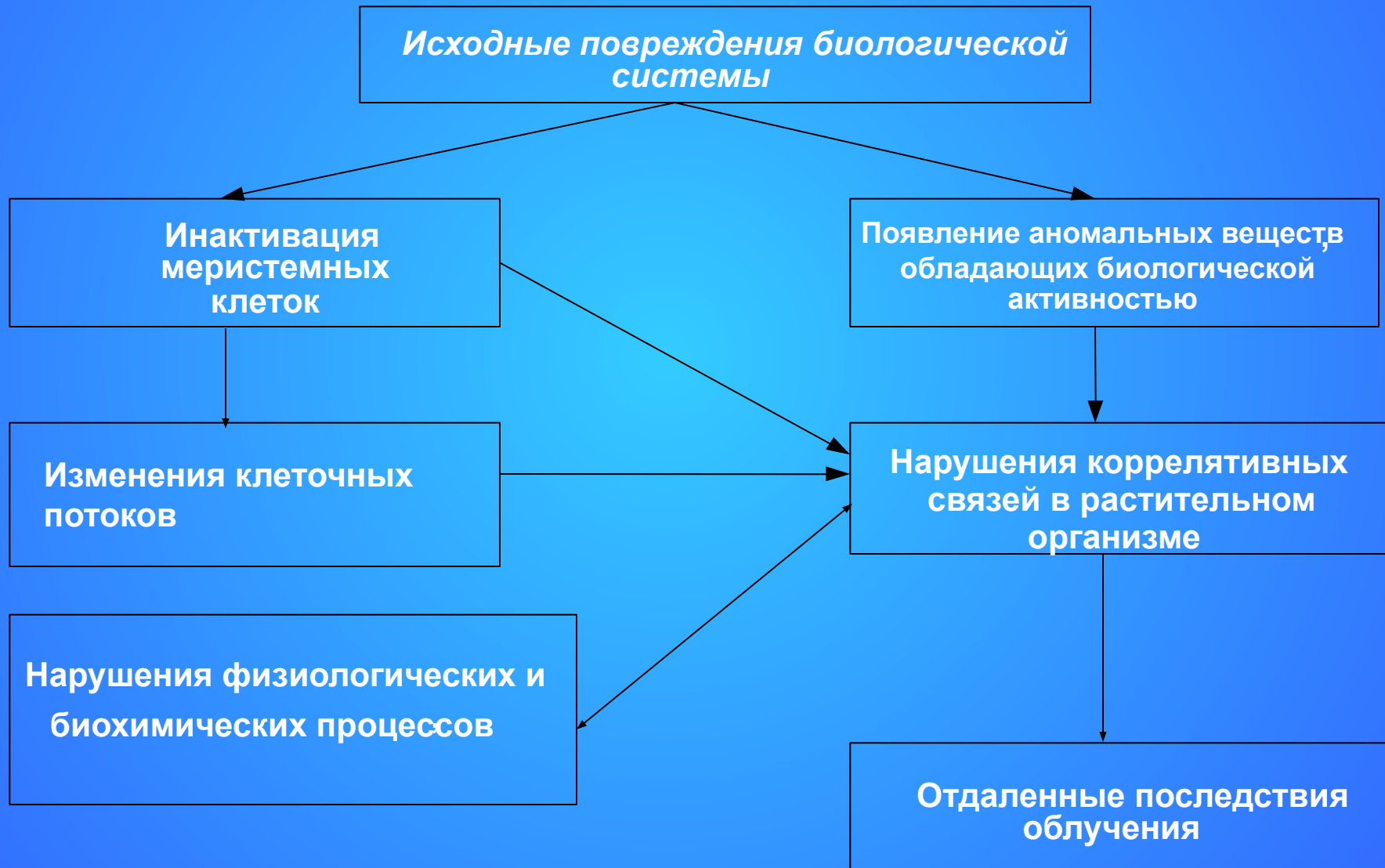
- 1) поглощение энергии ионизирующего излучения;
- 2) появление ионизированных и электронно-возбужденных молекул;
- 3) индуцирование изменений в молекулах;
- 4) развитие биохимических повреждений;
- 5) формирование субмикроскопических повреждений;
- 6) проявление видимых повреждений клеток;
- 7) гибель клетки.

# Основные этапы радиационного повреждения клетки (по Кузину, 1981)

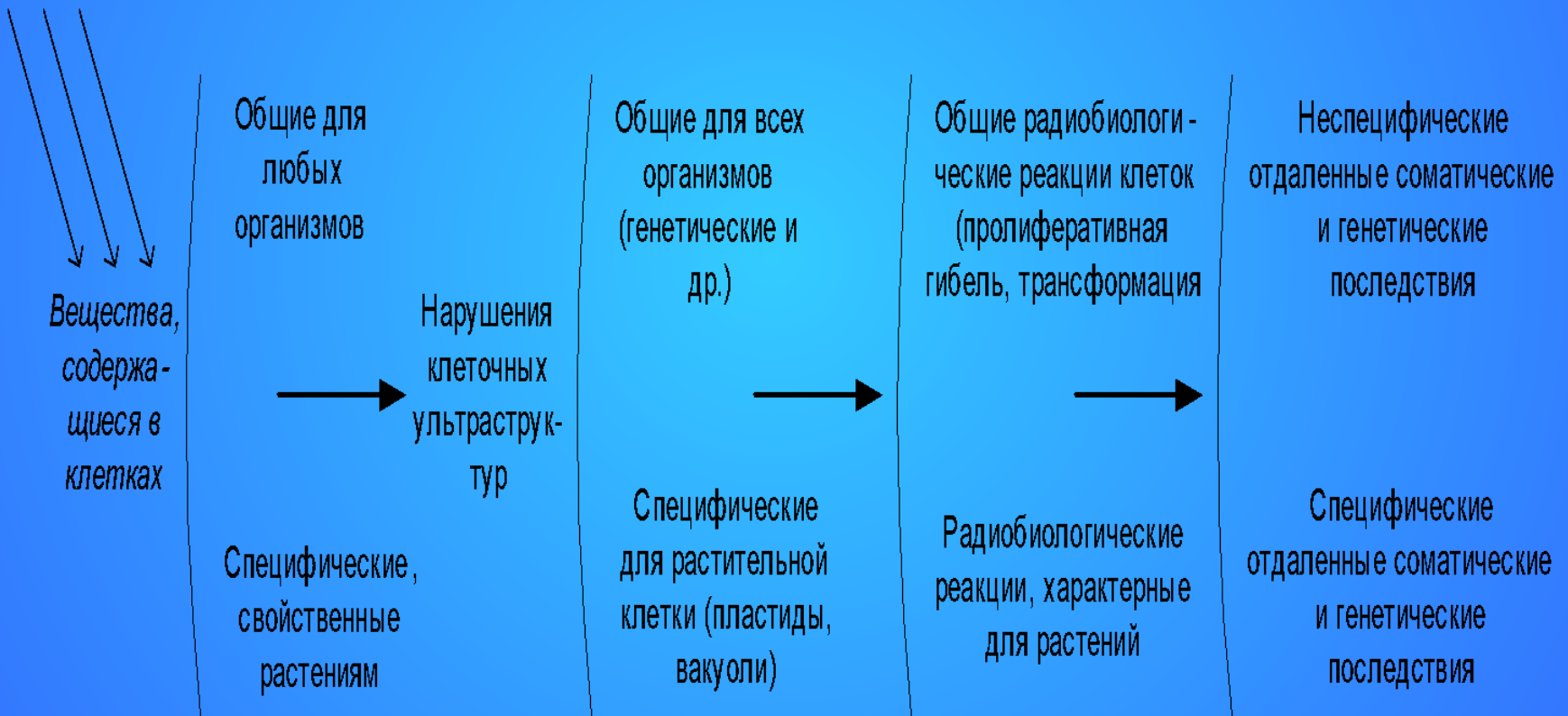




# Нарушение коррелятивных физиологических связей в растительном организме при действии ионизирующей радиации (по Гродзинскому, 1989)



# Развитие радиобиологических реакций у растений (по Гродзинскому, 1989)



# Механизмы устойчивости растений к действию радиации на молекулярном уровне

Степень радиационного повреждения молекул ДНК в клетке уменьшают системы восстановления ДНК, **независимые или зависимые** от света.

Системы темновой репарации (**независимой** от света), постоянно присутствующие в клетке, отыскивают поврежденный участок, разрушают его и восстанавливают целостность молекулы ДНК.

Под влиянием света ферментативным или неферментативным путем устраняются димеры пиримидиновых оснований, возникающие в ДНК при действии ультрафиолетового света или ионизирующего излучения. Это способствует уменьшению повреждений (изменений) и в хромосомах.

# Клеточные механизмы устойчивости растений к действию радиации

**Радиопротекторы** гасят свободные радикалы, возникающие при облучении, создают локальный недостаток кислорода или блокируют реакции с участием продуктов – производных радиационно-химических процессов

**Функцию радиопротекторов выполняют:**

- SH-соединения (глутатион, цистеин и др.)
- восстановители (аскорбиновая кислота; ионы металлов и элементы питания)
- ферменты и кофакторф (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, NAD)
- ингибиторы метаболизма (фенолы, хиноны); активаторы (ИУК, ГК) и ингибиторы роста (АБК и др.)

# Устойчивость к действию радиации на уровне целого растения обеспечивается:

- а) неоднородностью популяции делящихся клеток меристем
- б) асинхронностью делений в меристемах, из-за которой в каждый данный момент в них содержатся клетки на разных фазах митотического цикла с неодинаковой радиоустойчивостью
- в) существованием в апикальных меристемах фонда клеток типа покоящегося центра, они приступают к энергичному делению при остановке деления клеток основной меристемы и восстанавливают и инициальные клетки, и меристему
- г) наличием покоящихся меристем типа спящих почек, они при гибели апикальных меристем начинают активно функционировать и восстанавливают повреждение



# Меры профилактики радиоактивного загрязнения окружающей среды

- охрана атмосферного слоя Земли как природного экрана, предохраняющего от губительного космического воздействия радиоактивных частиц
- соблюдение техники безопасности при добыче, использовании и хранении радиоактивных элементов, применяемых человеком в процессе его жизнедеятельности

# Пути уменьшения поступления радионуклидов в продовольственное сырье

- проведение организационно-хозяйственных и технологических мероприятий
- изменение структуры посевных площадей
- мелиорация загрязненных земель, направленной на локализацию процессов миграции радиоактивных веществ
- внесение повышенных доз удобрений и извести