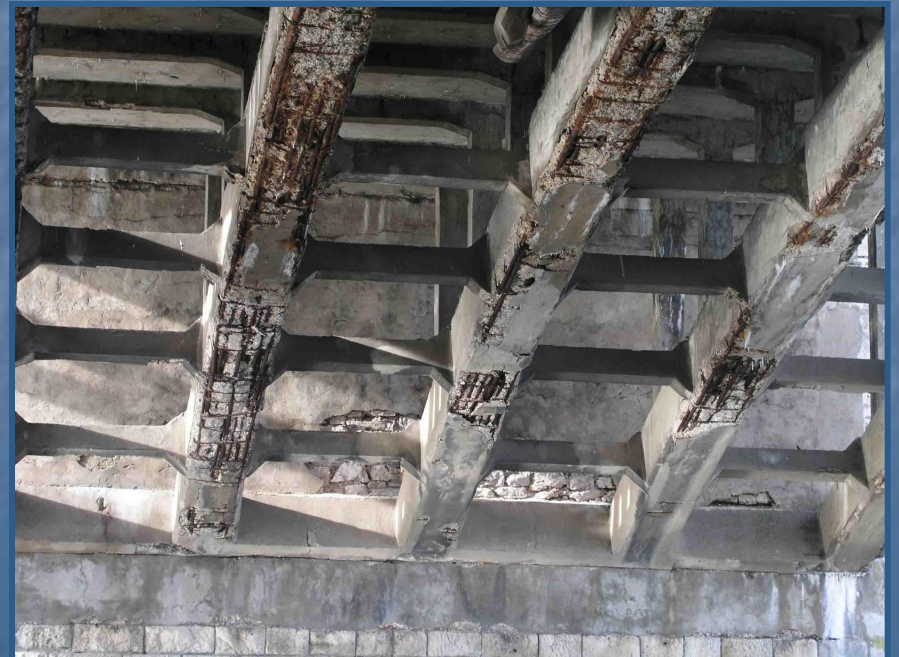


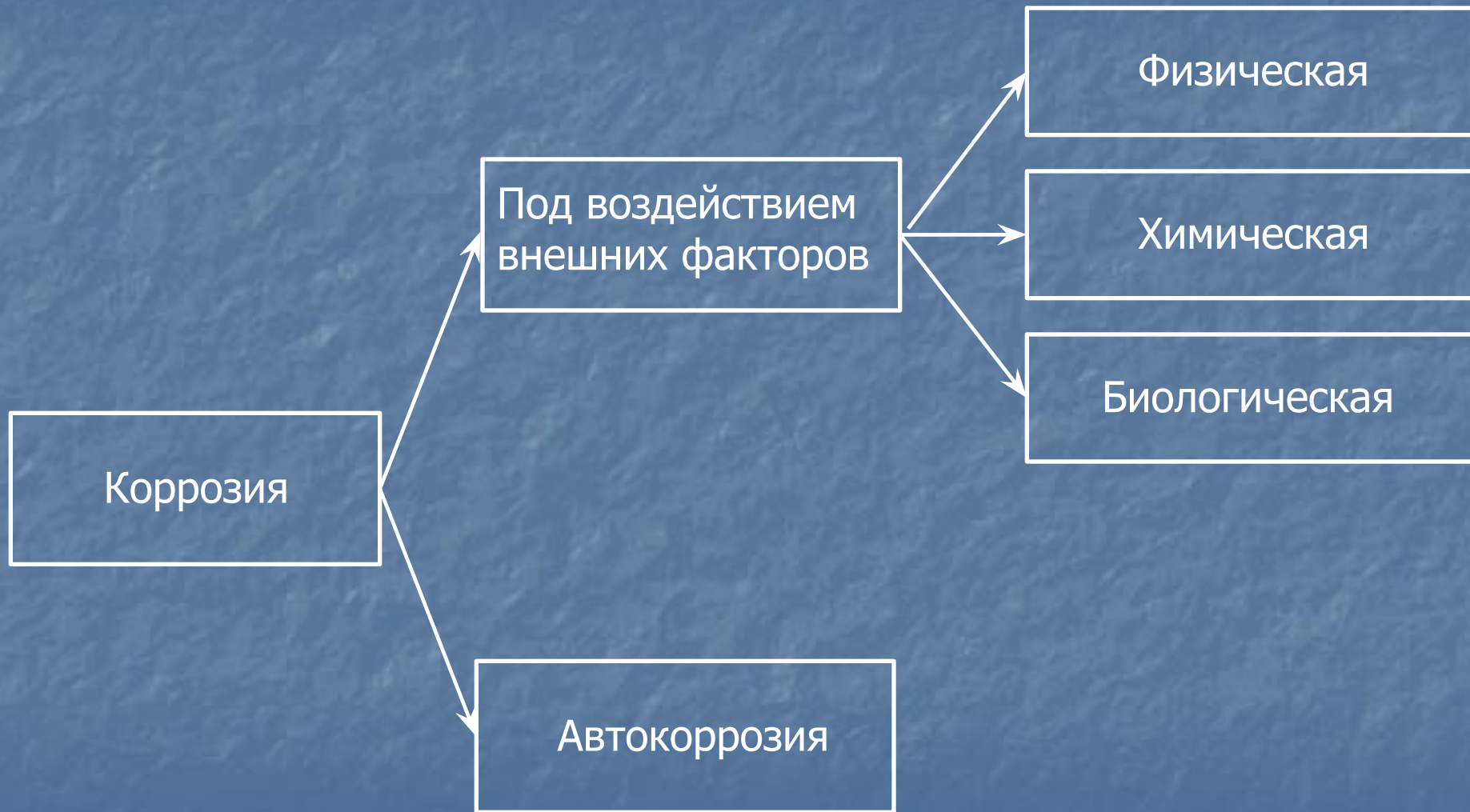
# Коррозия цементного камня и бетона

Коррозия цементного камня и бетона – снижение прочностных характеристик материала под воздействием различных факторов вплоть до его разрушения.

Коррозия цементного камня и бетона часто сопровождается изменениями геометрических характеристик изделия

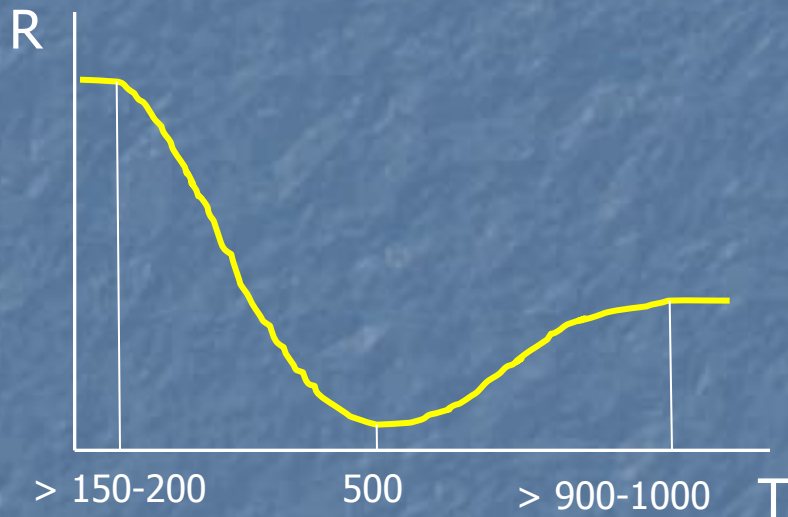


# Классификация процессов коррозии



# Физическая коррозия цементного камня

## Коррозия под воздействием повышенных температур



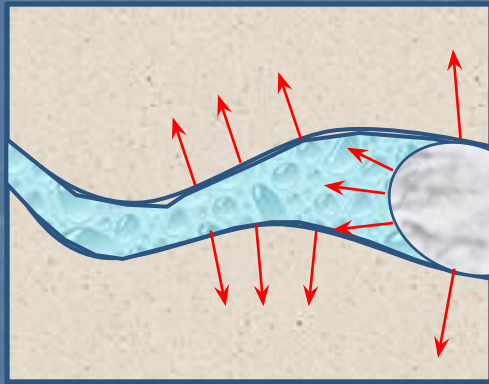
Причина – дегидратация кристаллогидратов цементного камня

Меры борьбы – введение в состав цемента тонкоизмельченных добавок (шамот, туф, трепел, огнеупоры) в количестве 50 – 200 % от массы цемента



# Физическая коррозия цементного камня

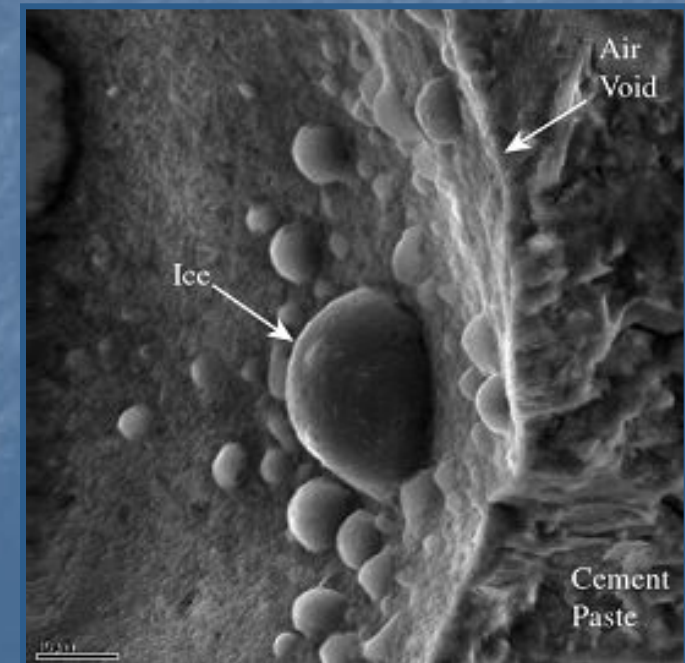
## Коррозия под воздействием низких температур



Причина – увеличение объема при замерзании воды в лед в порах цементного камня (9 %) – давление льда на стенки пор, гидростатическое давление (до 2 – 3 МПа)

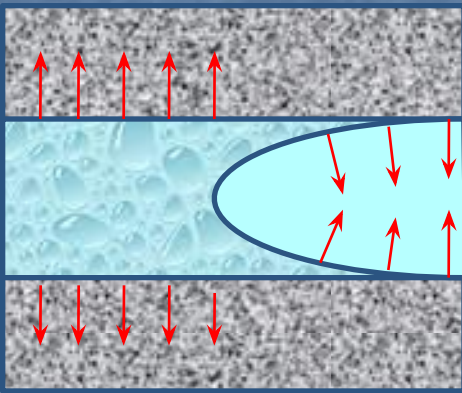
### Меры борьбы:

- ❑ снижение пористости цементного камня;
- ❑ уменьшение среднего размера пор;
- ❑ использование воздухововлекающих добавок для создания демпфирующих (наполненных воздухом) пор диаметром 500 – 1000 мкм



# Физическая коррозия цементного камня

## Коррозия под воздействием попеременного увлажнения - высыхания



Причина – возникновение капиллярного давления в частично заполненных водой порах цементного камня

$$p = \frac{2\sigma}{r} \cos\Theta$$

$\beta$  - коэффициент линейного набухания, мм/м  $\beta \approx 0,03$

$\eta$  - коэффициент линейной усадки, мм/м  $\eta \approx 0,005$

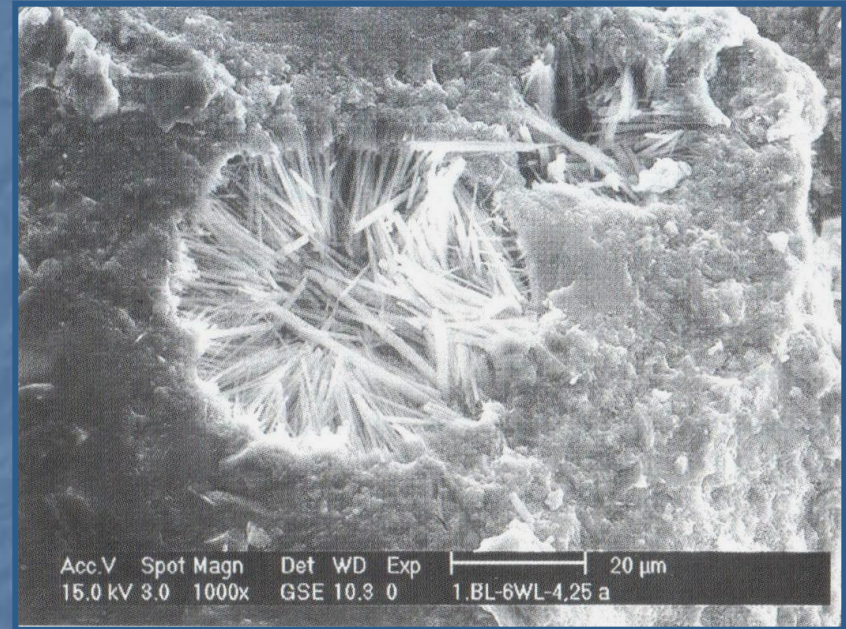
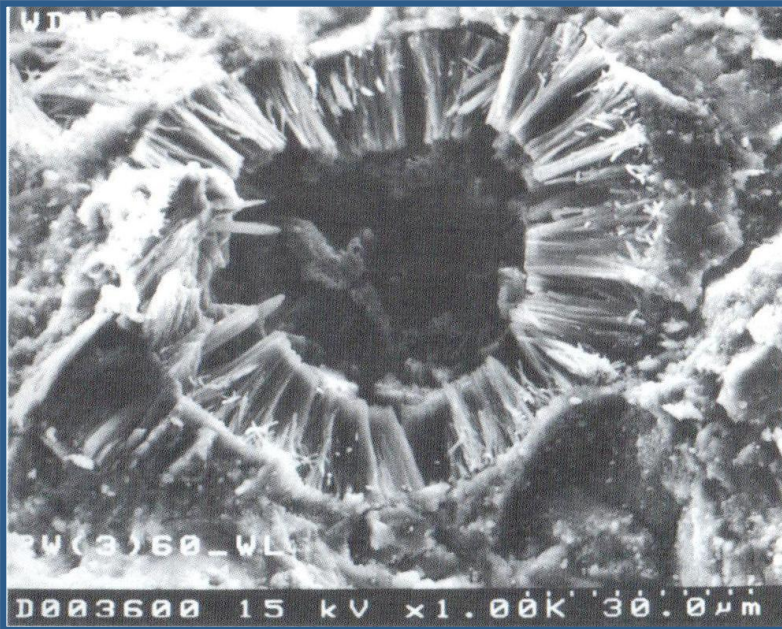
### Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- гидрофобизация поверхности пор цементного камня



# Физическая коррозия цементного камня

## Коррозия под воздействием кристаллизации солей



Причина – давление растущих кристаллов на стенки пор

### Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- гидрофобизация поверхности пор цементного камня

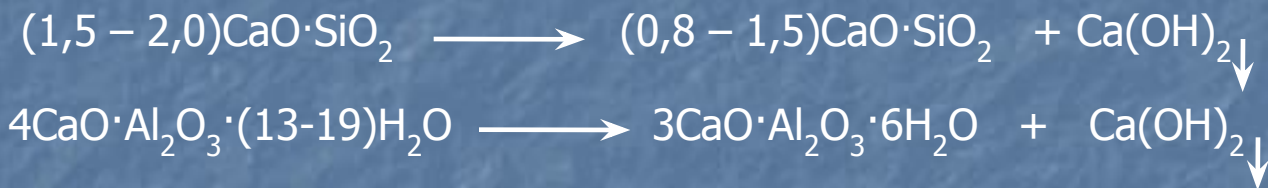
# Химическая коррозия цементного камня

## Коррозия выщелачивания под воздействием пресных вод

Причина – растворение в воде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (растворимость – 1,3 г/л), вынос  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из цементного камня.

Все кристаллогидраты в цементном камне стабильны только при определенной концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$ .

Изменение концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  приводит к разрушению и перекристаллизации основных кристаллогидратов:



### Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- перевод  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в менее растворимые соединения
- снижение содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в составе гидратированного цемента



# Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием карбонатных вод, содержащих ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$

Причина – переход  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне в  $\text{CaCO}_3$ .



Далее – по механизму действия коррозии под воздействием пресных вод

Образование  $\text{CaCO}_3$ :

- интенсифицирует удаление  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из цементного камня;
- уплотняет структуру цементного камня, снижает его пористость

Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- перевод  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в менее растворимые соединения
- снижение содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в составе гидратированного цемента

# Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием магниезальных вод, содержащих ионы  $Mg^{2+}$

Причина – разрушение  $Ca(OH)_2$  в цементном камне вследствие образования менее растворимого соединения  $Mg(OH)_2$



Далее – по механизму действия коррозии под воздействием пресных вод

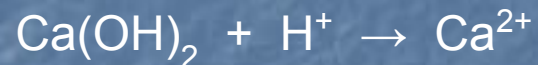
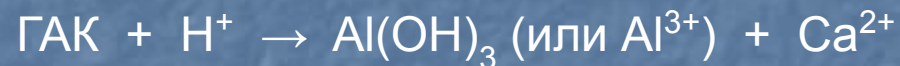
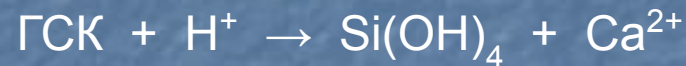
Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- перевод  $Ca(OH)_2$  в менее растворимые соединения
- снижение содержания  $Ca(OH)_2$  в составе гидратированного цемента

# Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием кислых вод, содержащих ион  $H^{\pm}$

Причина – разрушение кристаллогидратов в цементном камне



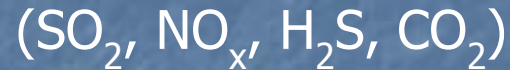
Меры борьбы:

- снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня

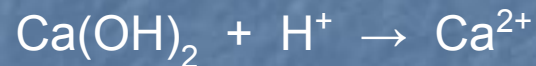
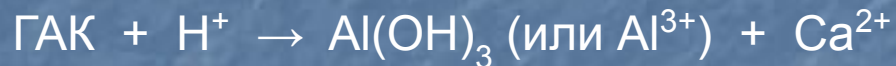
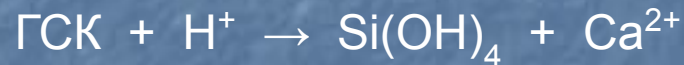


# Химическая коррозия цементного камня

## Коррозия под воздействием кислых газов



Причина – образование в цементном камне кислот при взаимодействии с водой, далее - по механизму действия кислотной коррозии



### Меры борьбы:

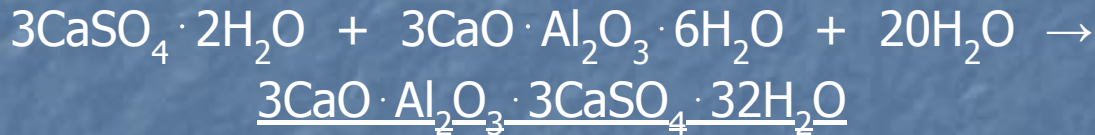
- снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня

$$V_{\text{нач.}} = 3 \cdot (74/2,24) + (378/2,52) = 249,1$$

# Химическая коррозия цементного камня

## Сульфатная коррозия под воздействием вод, содержащих ионы $\text{SO}_4^{2-}$

Причина – образование в цементном камне этtringита со значительным (более чем в 2 раза) увеличением объема твердых кристаллических фаз



Этtringит – «цементная бацилла»

### Расчет объемных изменений при образовании этtringита

Один моль этtringита образуется в результате реакции между одним молем  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и тремя молями  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , образовавшимися из трех молей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и занимает их первоначальный объем.

$$V_{\text{молярн.}} = M / \rho$$

$$V_{\text{нач.}} = 3 \cdot (74 / 2,24) + (378 / 2,52) = 249,1 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{конечн.}} = 1254 / 1,77 = 708,5 \text{ см}^3$$

$$\text{Изменение объема} = V_{\text{конечн.}} / V_{\text{нач.}} = 708,5 / 249,1 = 2,84$$

# Химическая коррозия цементного камня

Сульфатно – магнезиальная коррозия под воздействием вод, содержащих ионы  $SO_4^{2-}$  и  $Mg^{2+}$

– усложняется и ускоряется коррозией под действием магнезиальных вод



Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня
- снижение содержания  $Ca(OH)_2$  в составе гидратированного цемента
- снижение содержания гидроалюминатов в составе гидратированного цемента



# Химическая коррозия цементного камня

Общие меры повышения коррозионной стойкости цементного камня:

«Слабые звенья» цементного камня:

Ca(OH)<sub>2</sub> – образуется при гидратации C<sub>3</sub>S

ГАК – образуются при гидратации C<sub>3</sub>A

- ❑ снижение содержания C<sub>3</sub>S в цементе;
- ❑ связывание Ca(OH)<sub>2</sub> в цементном камне в менее растворимые соединения с помощью активных кремнеземсодержащих минеральных добавок;
- ❑ снижение содержания C<sub>3</sub>A в цементе;
- ❑ снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- ❑ гидроизоляция поверхности затвердевшего цементного камня;
- ❑ гидрофобизация (поверхностная и объемная) цементного камня

# Биологическая коррозия цементного камня

Биологическая коррозия – повреждения бетона, вызванные продуктами жизнедеятельности живых организмов (бактерии, грибы, мхи, лишайники и микроорганизмы), поселяющихся на поверхности строительных конструкций.

Бактерии, грибы, водоросли способны развиваться на поверхности бетона и проникать в капиллярно-пористую структуру материала.

Продукты их метаболизма (органические кислоты и щелочи) разрушают компоненты цементного камня (особенно в условиях высокой влажности).



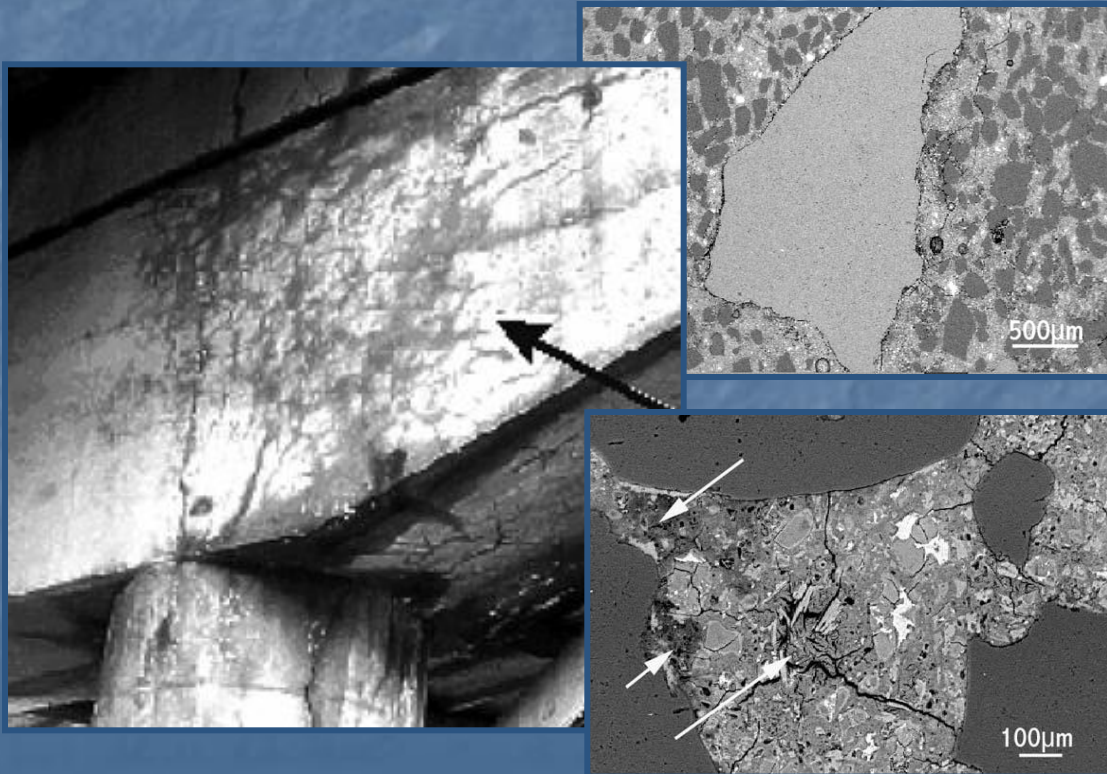
## Меры борьбы:

- снижение пористости цементного камня;
- гидроизоляция поверхности цементного камня;
- гидрофобизация поверхности пор цементного камня;
- введение в состав цемента биоцидных добавок

# Коррозия цементного камня вследствие образования вторичного этtringита

Причина – предварительное твердение цементов:

- при повышенных температурах (выше температуры стабильности этtringита);
- при недостатке воды в системе твердеющего цемента



Меры борьбы:

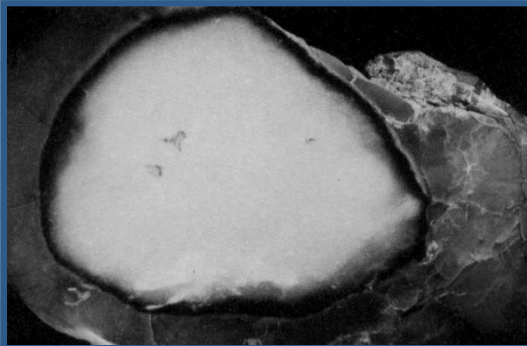
- тепловая обработка твердеющего цемента при температурах не более 80 °С;
- предотвращение потери влаги из цементного раствора;
- снижение скорости массопереноса в системе твердеющего цемента (уменьшение пористости, снижение среднего размера пор, объемная гидрофобизация пор)



# Коррозия цементного камня и бетона вследствие реакций активного заполнителя со щелочами



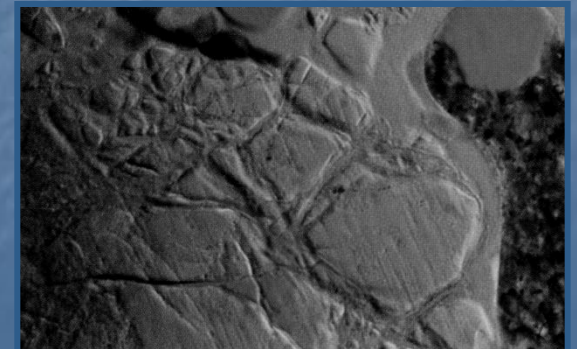
Причина – взаимодействие щелочей цемента ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) с активным заполнителем в бетоне



Опал



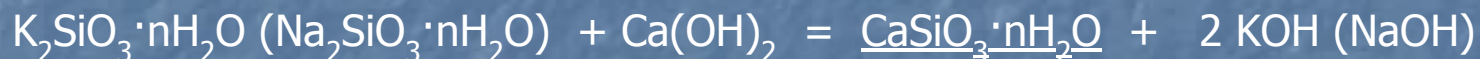
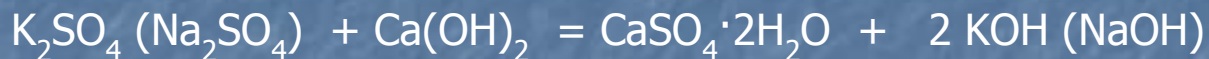
Халцедон



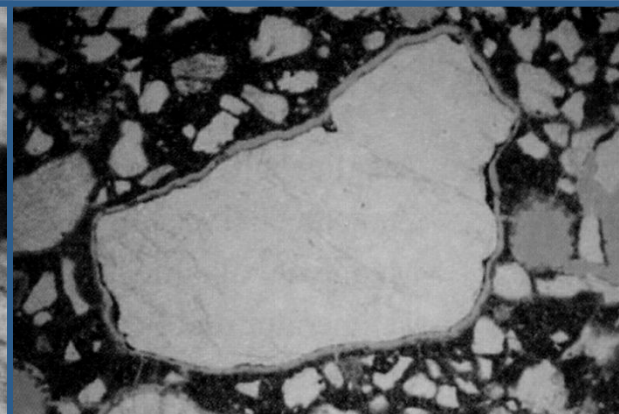
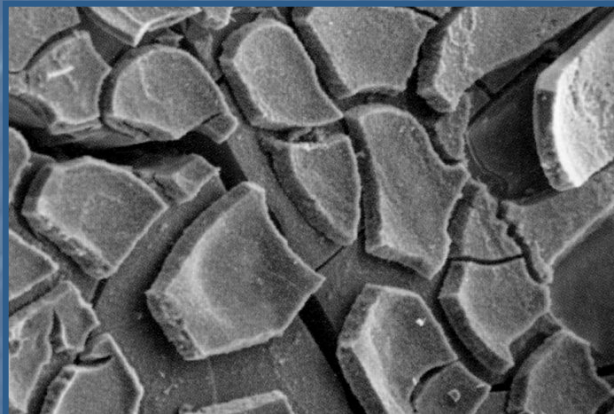
Кристаллит

# Коррозия цементного камня и бетона вследствие реакций активного заполнителя со щелочами

## Механизм коррозии



Высокодисперсный гидросиликатный гель при увлажнении заметно увеличивается в объеме, при высыхании – уменьшается в объеме, что приводит к разрушению контактной зоны и ослабляет структуру материала в целом



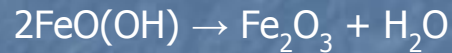
## Меры борьбы:

- ограничение содержания  $R_2O$  в цементе
- использование нереакционного заполнителя в бетоне
- введение в цемент высокодисперсных активных минеральных добавок

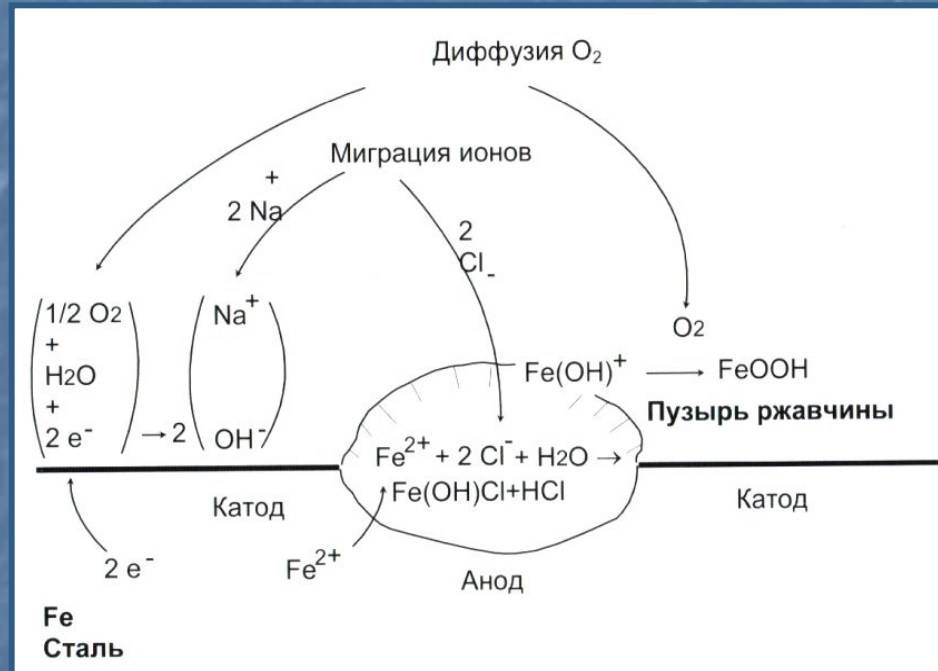


# Коррозия железобетона под воздействием хлоридов

Образование защитной пленки на поверхности арматуры при высоких значениях pH среды:



Коррозия арматуры под воздействием NaCl и O<sub>2</sub> воздуха:



Меры борьбы:

- пассивация арматуры;
- использование оцинкованной арматуры
- снижение проницаемости цементного камня и бетона