

Карбонатные породы

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ИЗВЕСТНЯКОВ

Путиловская плита (Лен. область)



Памятник
А. Потемкиной



Желто-оранжевый, серовато-зеленый, пятнисто-красный, с глинистой прослойкой, с включениями окаменелой фауны

Пудостский камень
(Лен. область)



Грот в
Некрополе
XVIII в.

Серо-желтый
пористый
известковый
туф



Памятник
Неизвестному

Следы древних
червей



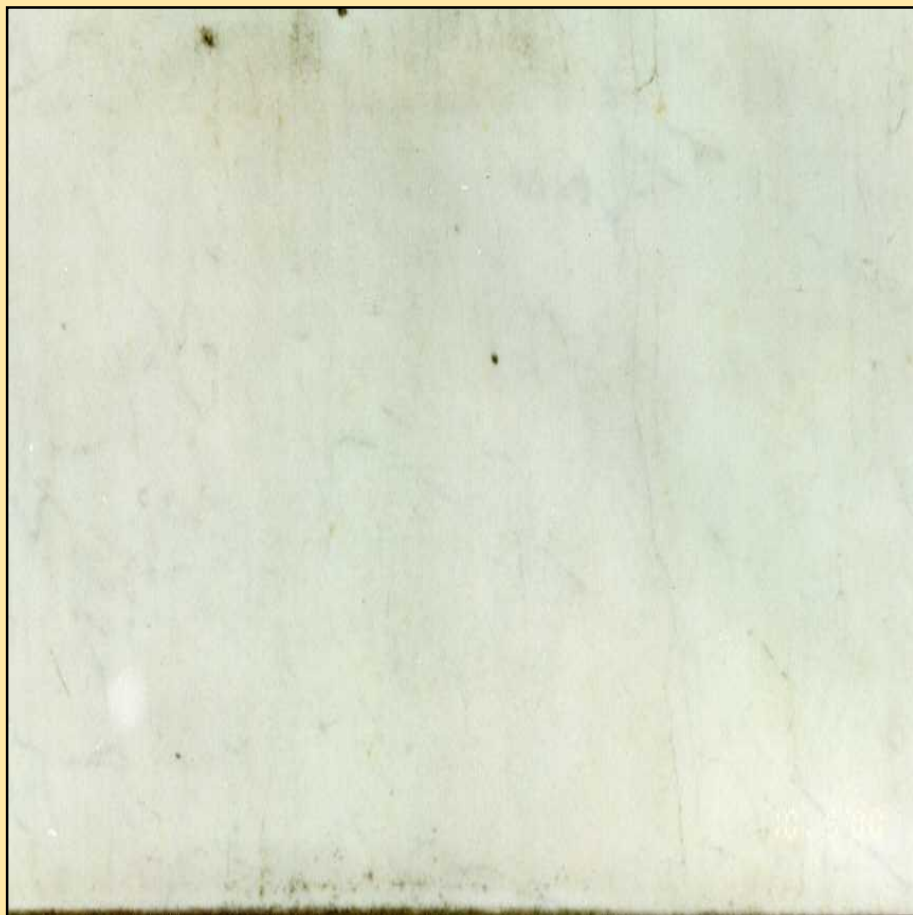


**Путиловский карьер.
Ленинградская область**



Белые мраморы

Итальянские (каррарские),
греческие



Однородные
мелко-, среднезернистые

Уральские
(Полевское м-ие)



Однородные
крупнозернистые (массивные)

Цветные мраморы (Карелия)

Рускеальские (Сев. Приладожье)

Тивдийские , белогорские
(Прионежье)

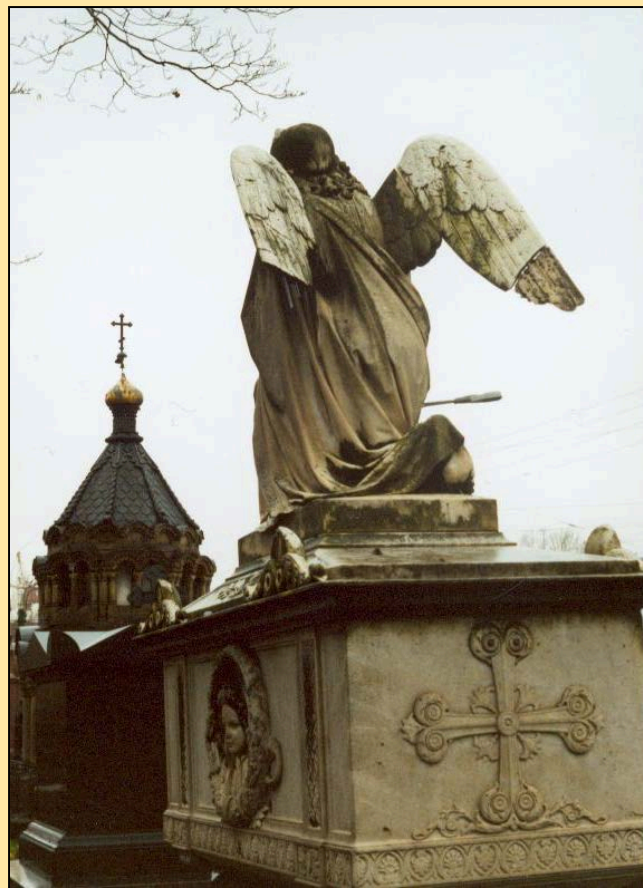
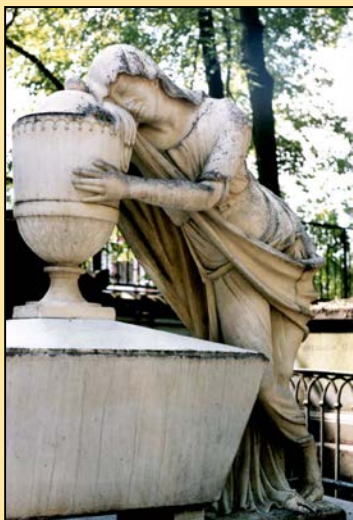


Серые, разномзернистые,
часто полосчатые.



Розовые, узорчатые,
мелко-, среднезернистые.

Итальянский (каррарский) мрамор



«Фасад мраморного дворца»



Белый каррарский мрамор

Розовый тивдийский мрамор

**Темно-серый сердобольский
гранит.**

Серый рускеальский мрамор

Белый уральский мрамор

Полосчатый ювенский мрамор

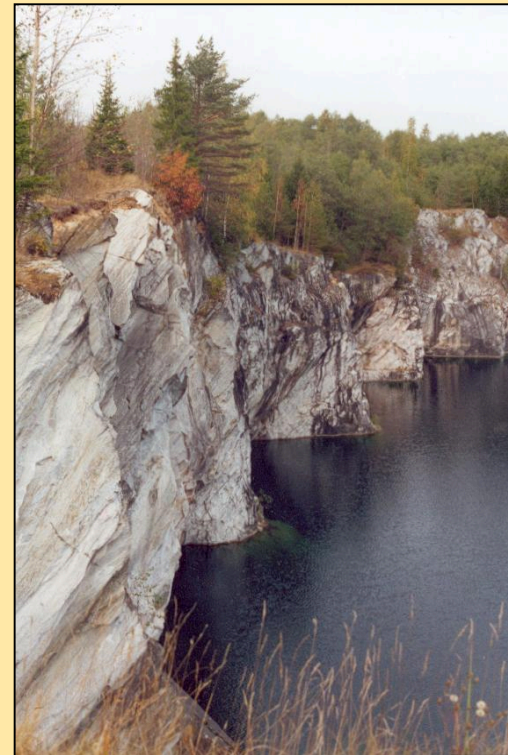
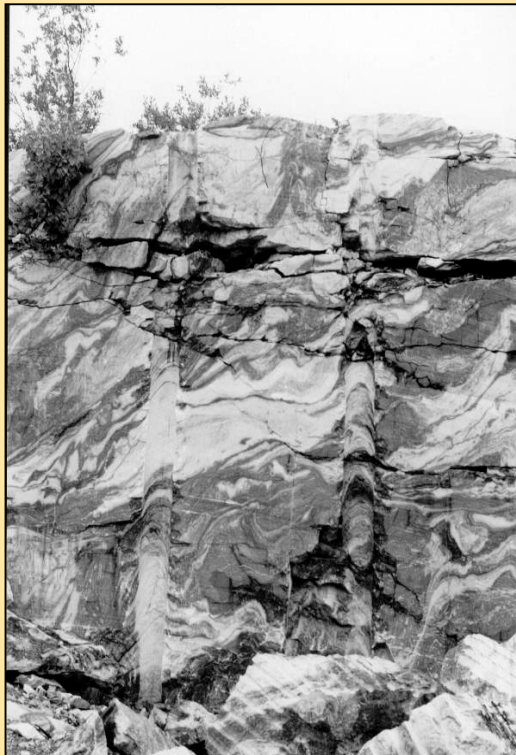
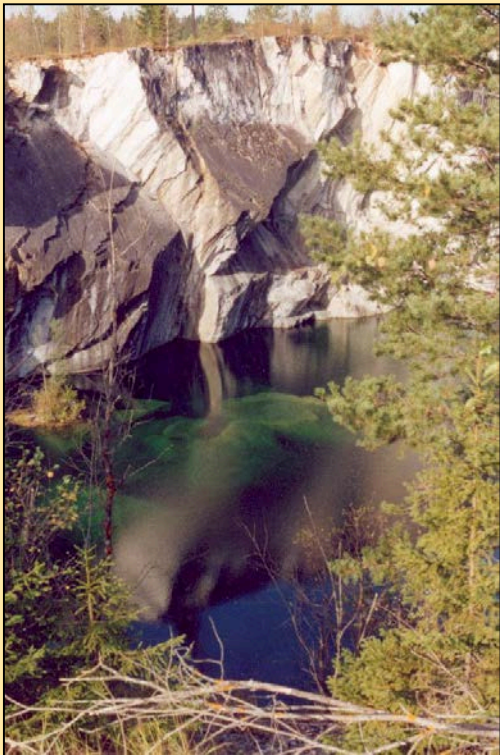
**Финский розовый
гранит (рапакиви).**

*Дом спорта
(ул. Миллионная)*

*Мраморные
колонны из
Ювенского мрамора*



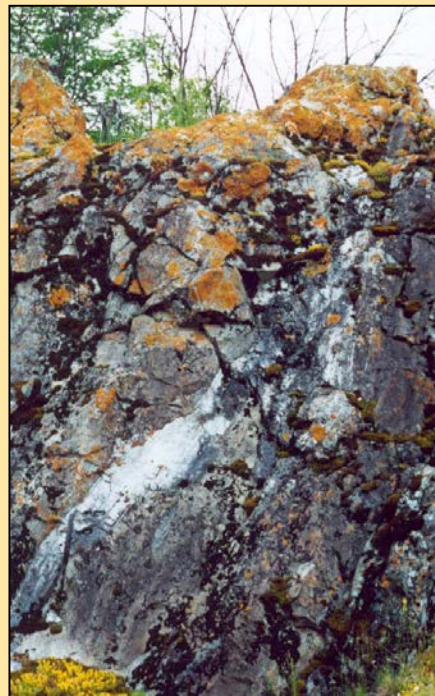
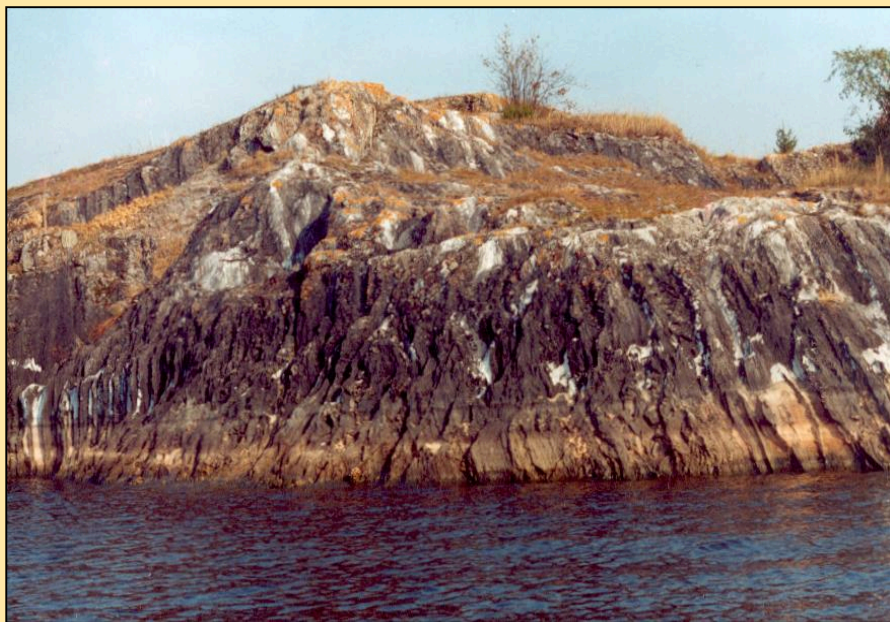
Месторождение рускеальского мрамора (Северное Приладожье)



Рускеальский мрамор



Остров Ювень. Северное Приладожье



Минералы карбонатных пород

Минерал	Химическая формула
Каррарский, уральский мраморы	
Кальцит	CaCO_3
Кварц	SiO_2
Рускеальский мрамор	
Кальцит	CaCO_3
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Амфиболы: тремолит роговая обманка	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$
Хлориты: клинохлор и др.	$(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Тальк	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Слюды: флогопит и др.	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Al})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Диопсид	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
Апатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$
Кварц	SiO_2
Тивдийский мрамор, Пудосткий известняк	
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Кальцит	CaCO_3
Кварц	SiO_2
Путиловский известняк	
Кальцит	CaCO_3
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Глауконит	$\text{K}(\text{Fe}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Кварц	SiO_2

ВЫВЕТРИВАНИЕ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

ОТСЛАИВАНИЕ
НА ПУТИЛОВСКОЙ ПЛИТЕ



ФИЗИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ

ВЫКРАШИВАНИЕ
МРАМОРА

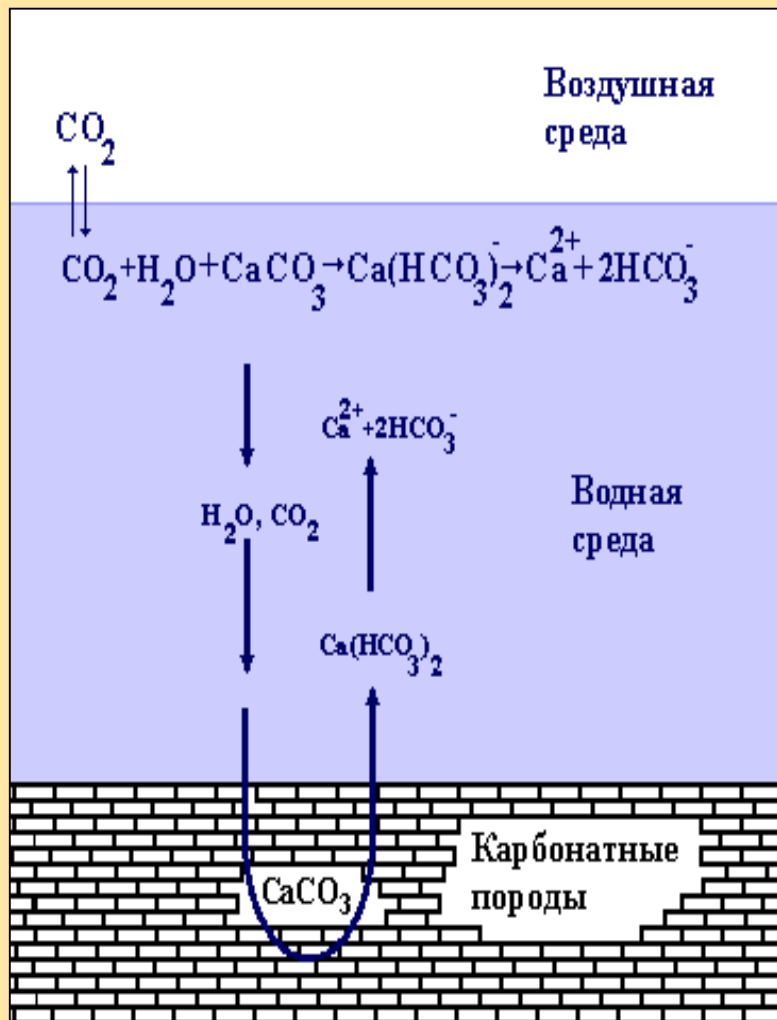


SEM MAG: 500 x
HV: 15.0 kV
DET: SE Detector
DATE: 02/27/04
100 µm
Vega ©Tescan
CamScan MV2300D SEM

Электронномикроскопический
СНИМОК



Углекислотное выщелачивание карбонатных пород



Микрокарст на рускеальском мраморе



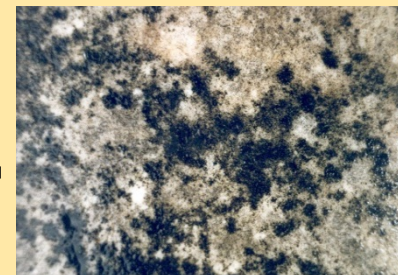
**Альвеолярное выветривание пудостского
камня (Структура типа «костной ткани»)**



Бактерии

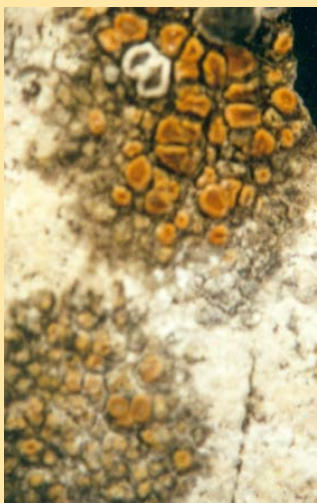


Микроскопические грибы



**Микроорганизмы
на поверхности
камня**

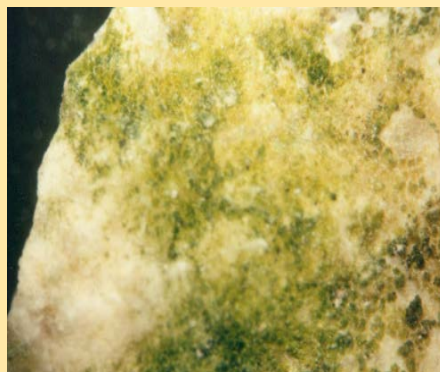
Лишайники



Мхи



Микроскопические водоросли

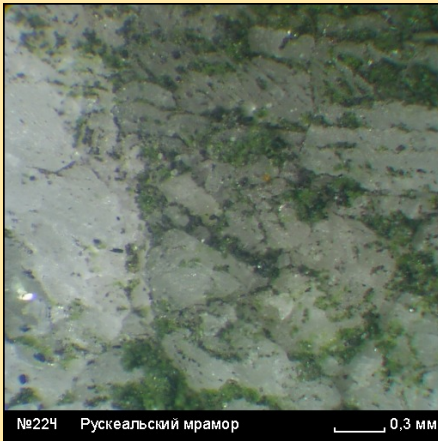


Основные стадии воздействия микроорганизмов на камень

1.Образование биопленки.

Микроорганизмы на Рускеальском мраморе

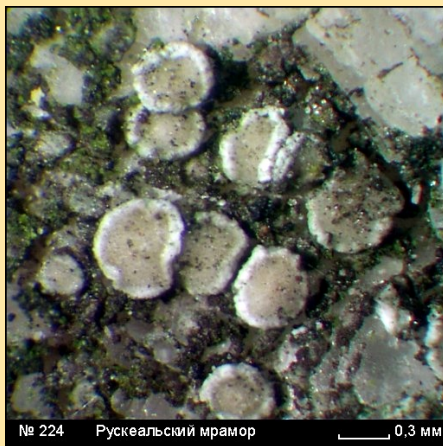
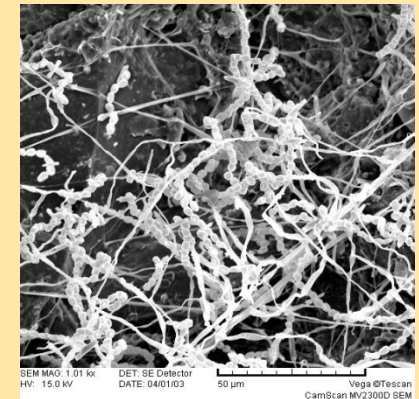
СЭМ-изображение



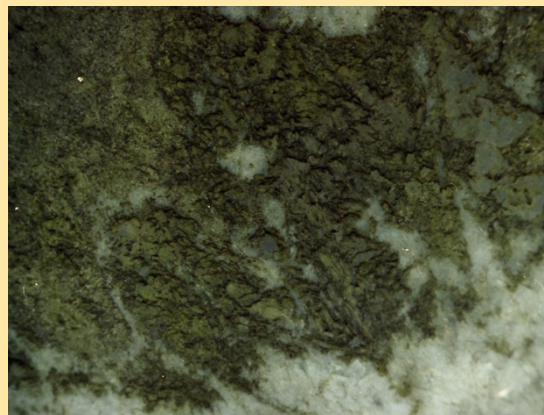
Водоросли



Грибы



Лишайники, грибы



Грибы, водоросли

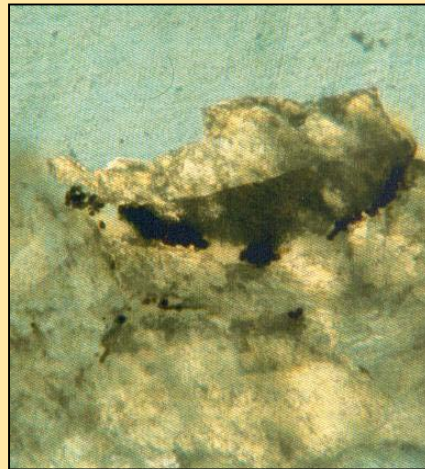


Мхи

2. Механическое воздействие на горную породу.



Биопиттинг



Выкрашивание



**Проникновение
вглубь камня**



Удержание дождевой и конденсированной влаги

3. Биохимическое воздействие :

- Выделение органических кислот и других метаболитов,
- Химические реакции этих агрессивных продуктов с минералами: питтинг и травление поверхности, реакции замещения и растворения, **вторичное (метабиогенное) минералообразование**

**Кислоты выделяемые
микромицетами:**

Щавелевая
 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Муравьиная
 HCOOH

Фумаровая
 $(\text{CHCOOH})_2\text{CH}(\text{COONH}_4)\text{CH}$

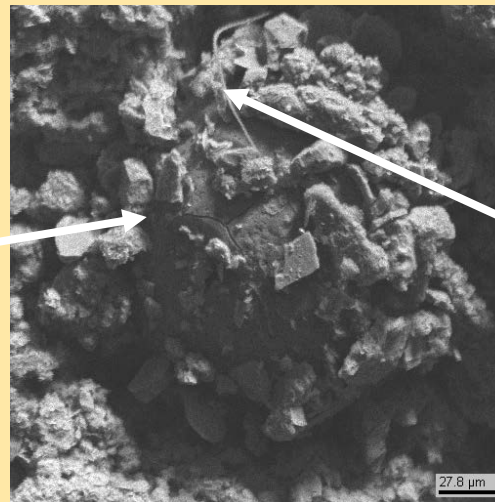
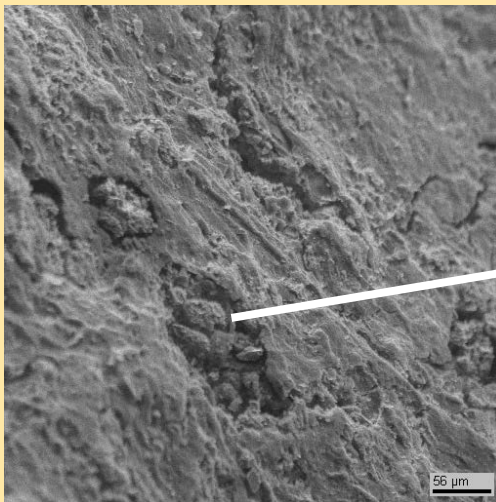
Глюконовая
 $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$

Молочная
 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$

Уксусная
 CH_3COOH

Гифы грибов

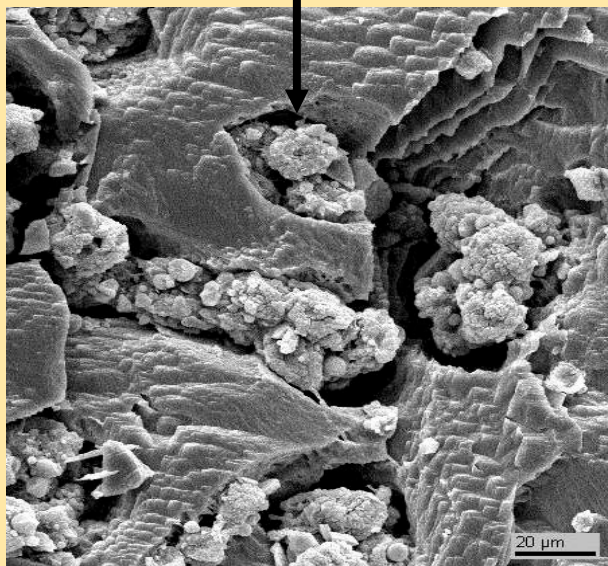
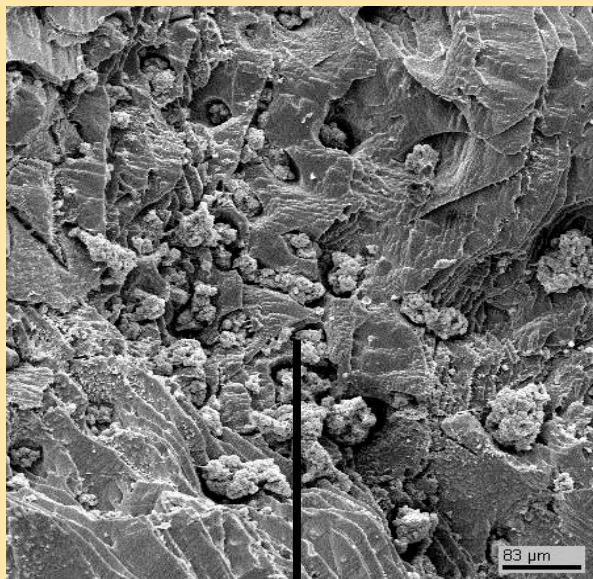
**Начало растворения мрамора под
действием микроорганизмов**



Проявление биопиттинга

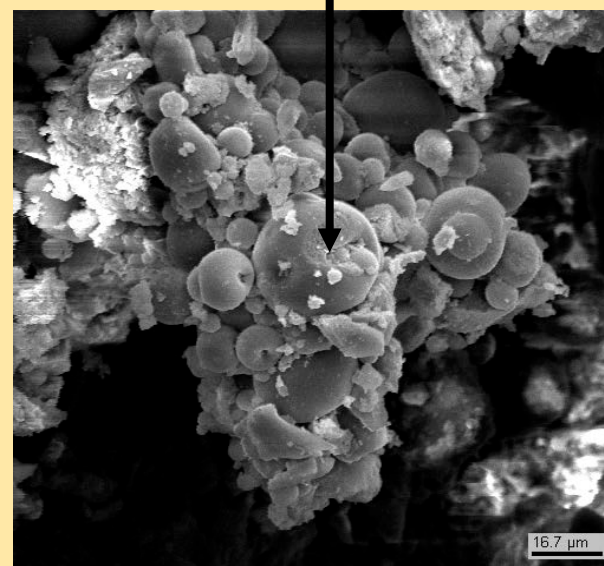
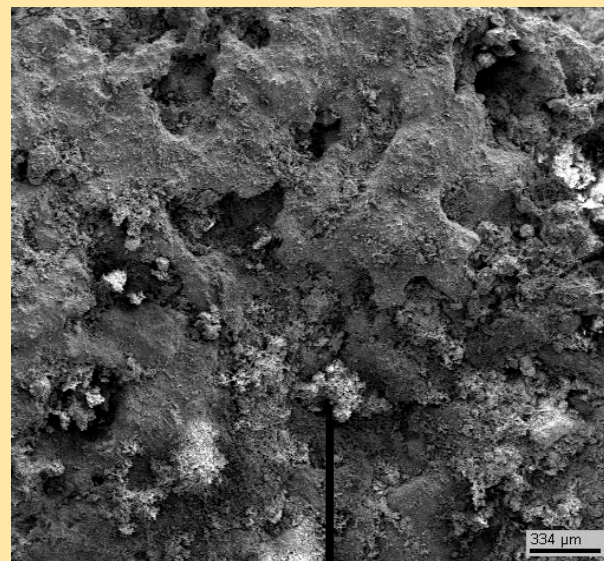
Интенсивная стадия растворения

Рускеальский мрамор



Микробные сообщества
в трещинах

Пудостский известняк



Биокластер

4. Образование патины – наслоения из продуктов выветривания,, формирующегося в результате взаимодействия окружающей среды с подстилающим субстратом

Оксалатная патина на известняке



.Херсонес Таврический . «Базилика в базилике».

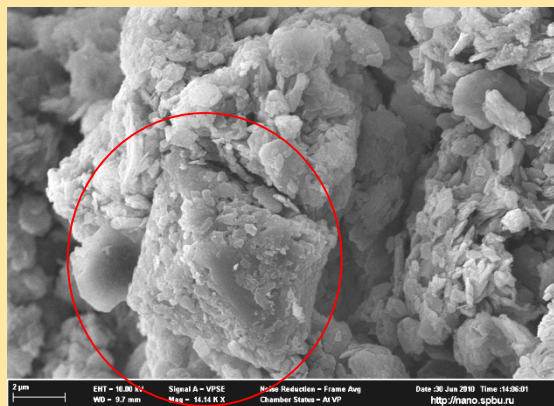
Оксалатная патина на мраморе

Сант-Фреддиано, Пиза, Италия

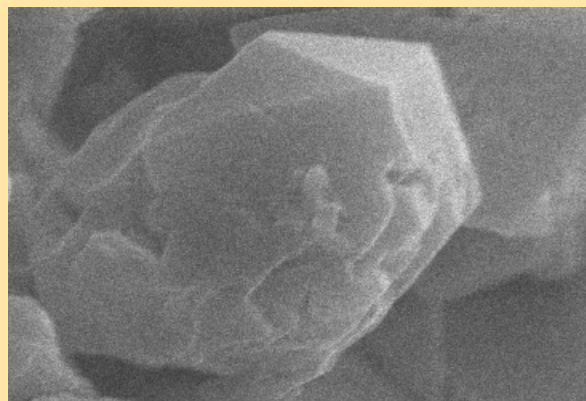


Кристаллы оксалатов кальция под биопленкой

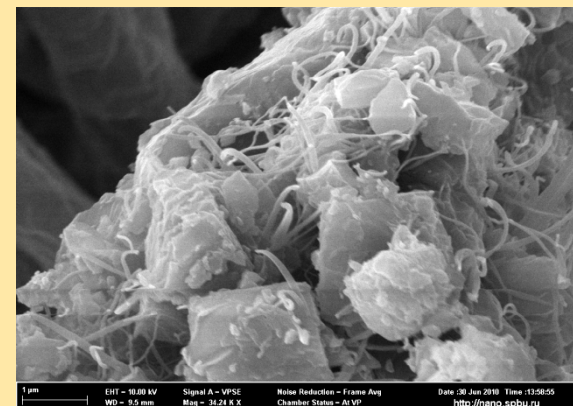
Тетрагональные кристаллы уеделлта $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot (2+x)\text{H}_2\text{O}$ (4/m)



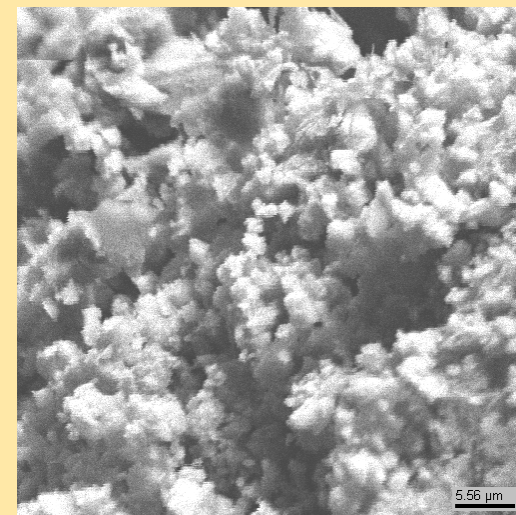
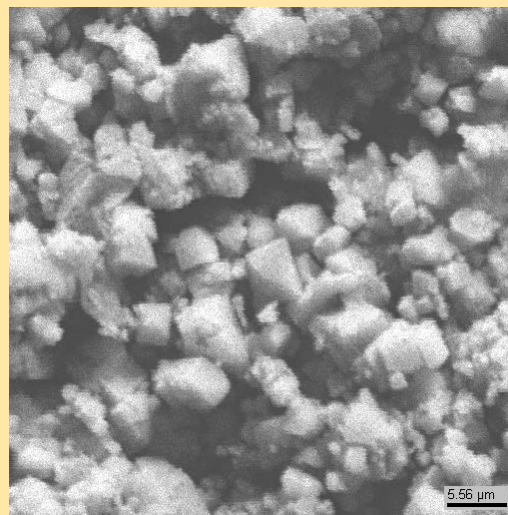
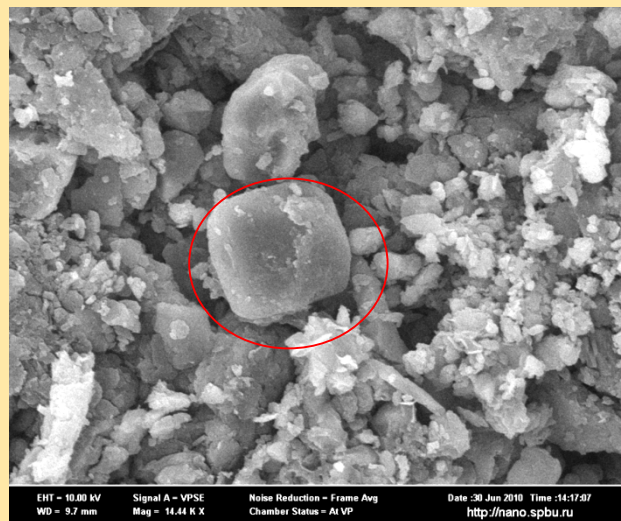
Дипирамидальный



Дипирамидально-
призматический



Кристаллы , окруженные
микобактериями



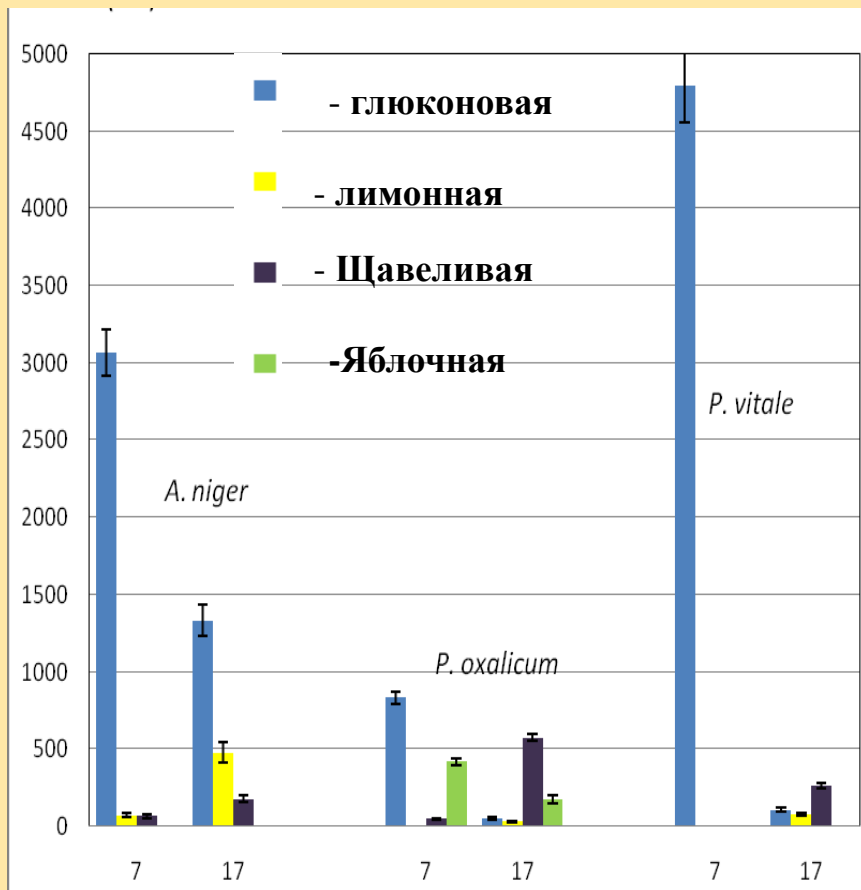
Кристаллы уеделлта и кристаллические агрегаты с уевеллитом $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Микроорганизмы в оксалатной патине

Памятники Херсрнеса		Пиза (Burford, et al., 2003)	
Лишайники	Микромицеты	Уевеллит	Уедделлит
<i>Botryolepraria lesdani</i> <i>Diplocia canescens</i> <i>Caloplaca lactea</i> <i>Collema sp.</i> <i>Lecanora pruinosa</i> <i>Verrucaria sp.</i>	<i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Epicoccum nigrum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Mucor racemosus</i> <i>Mucor ramosissimus</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium purpurogenum</i> <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Ulocladium charatrum</i>	<i>Acarospora rugulosa</i> <i>Acarospora smargdula</i> <i>Aspicila alpine</i> <i>Aspicilia calcarea</i> <i>Aspicilia radiosa</i> <i>Caloplaca flavescens</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Lecanora atra</i> <i>Lecanora rupicola</i> <i>Lecidea inops</i> <i>Lecidea lactea</i> <i>Ochrolechia parella</i> <i>Parmelia conspersa</i> <i>Parmelia subrudecta</i>	<i>Acarospora rugulosa</i> <i>Aphylllophorales spp.</i> <i>Aspicilia calcarea</i> <i>Caloplaca aurantia</i> <i>Caloplaca flavescens</i> <i>Geastrum spp.</i> <i>Hypogymnia physodes</i> <i>Hysterangium Crassum</i> <i>Lecanora atra</i> <i>Lecanora rupicola</i> <i>Lecidea inops</i> <i>Lecidea lactea</i> <i>Ochrolechia parella</i>

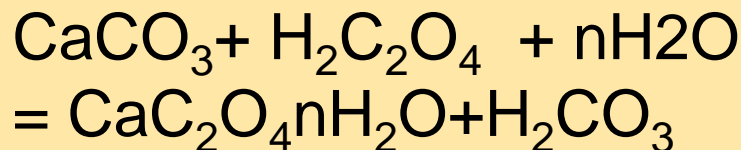
Кристаллизация оксалатов кальция в биопленках на поверхности оксалатных пород инициируется различными микроорганизмами: лишайниками рода *Lecanora* and *Caloplaca*, а также различными грибами, выделяющими щавелевую кислоту. Доминирующая роль принадлежит роду *Cladosporium*, который хорошо известен, как активный биодеструктор камня в различных климатических условиях.

Реакции образования оксалатов кальция



Органические кислоты,
выделяемые микромицетами

1. Метасоматоз

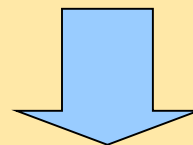


$n=1$ Уевеллит

$n=2$ Уеделлит

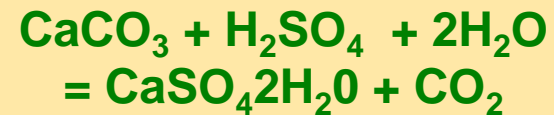
2. Дегидратация

Уеделлит → Уевеллит

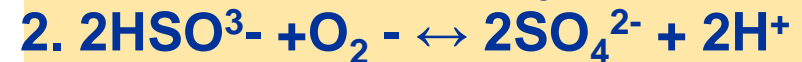
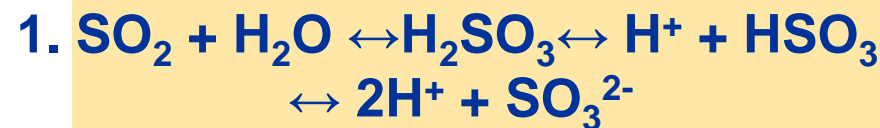


СУЛЬФАТИЗАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

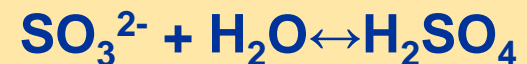
Метасоматическое
преобразование кальцита в
гипс:



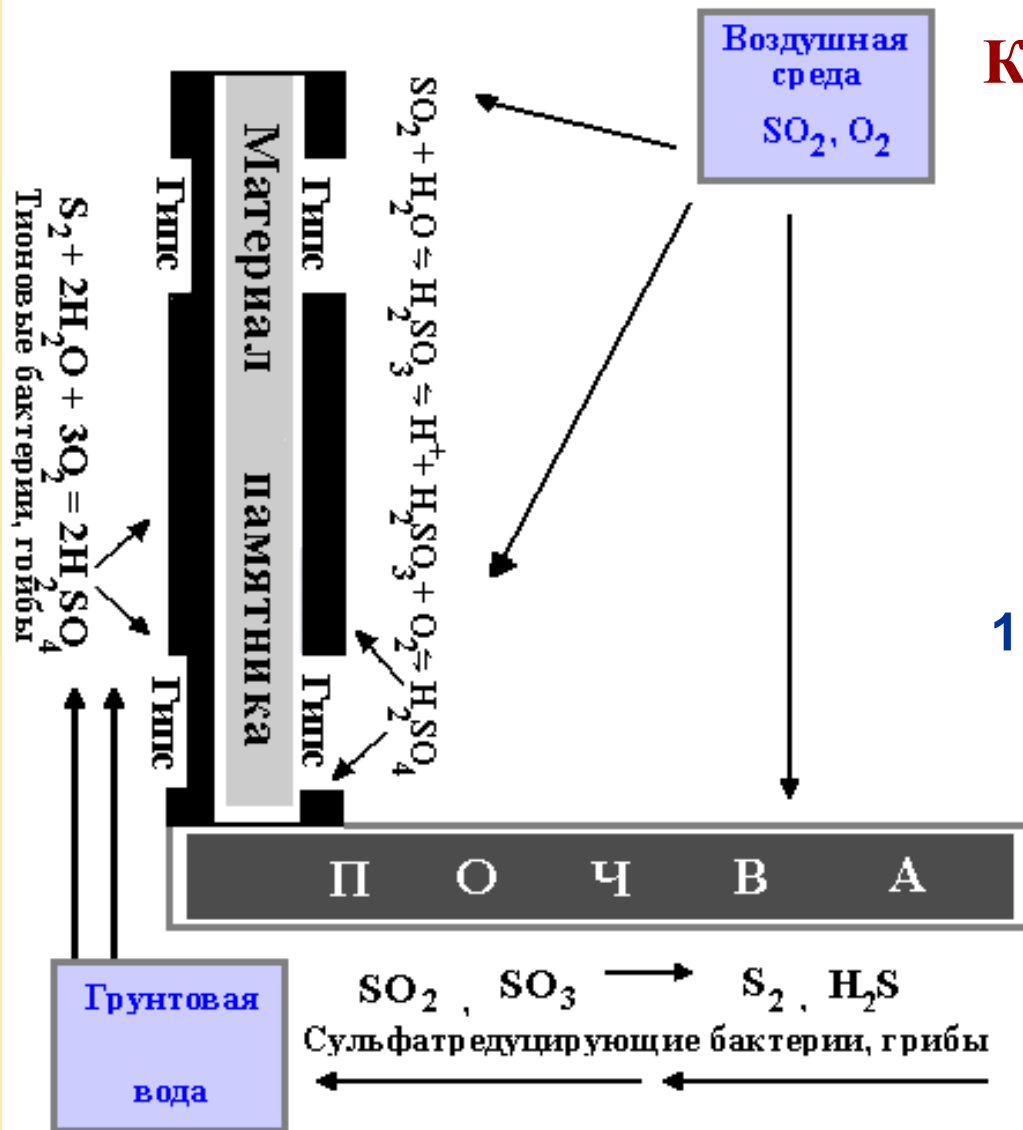
Образование ионов SO_4^{2-} :



или

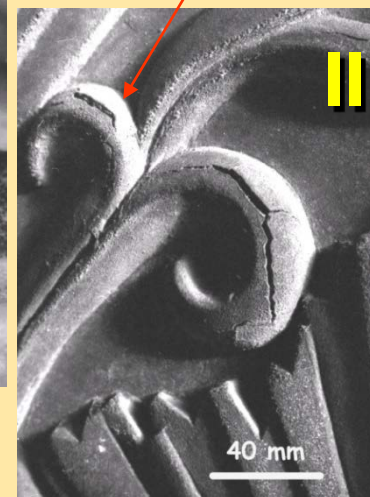
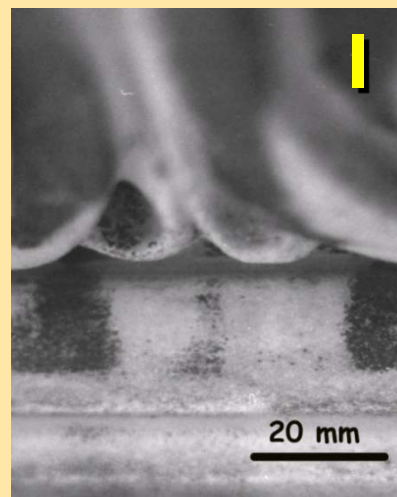


В качестве катализатора
выступает озон, а также
ионы Fe и Mn



Основные стадии сульфатизации каррарского мрамора (памятник А.И. Косиковскому)

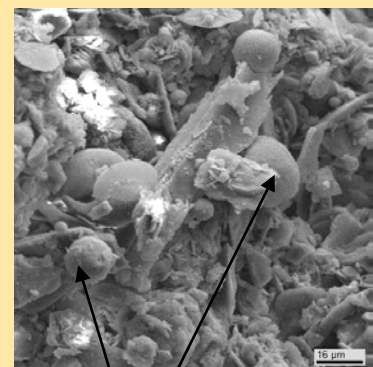
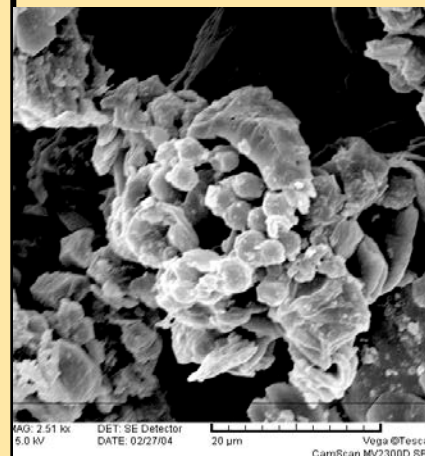
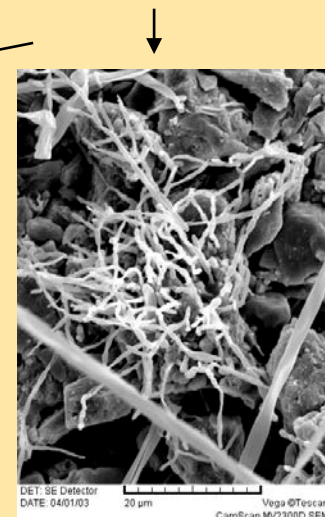
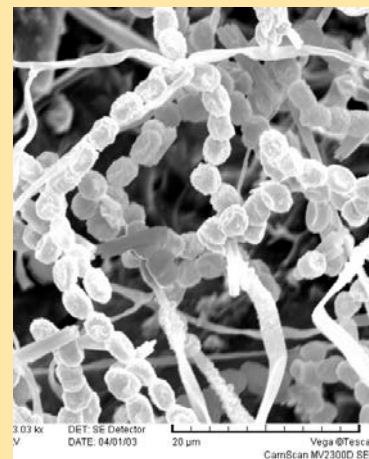
Стадия сульфатизации	Характеристика
I	Начало образования первичной черной корки
II	Образование первичной плотной корки
III	Отслаивание корки вместе с мрамором
IV	Начало образования вторичной черной корки



Основные стадии сульфатизации каррарского мрамора (памятник А.И. Косиковскому)

Микромицеты

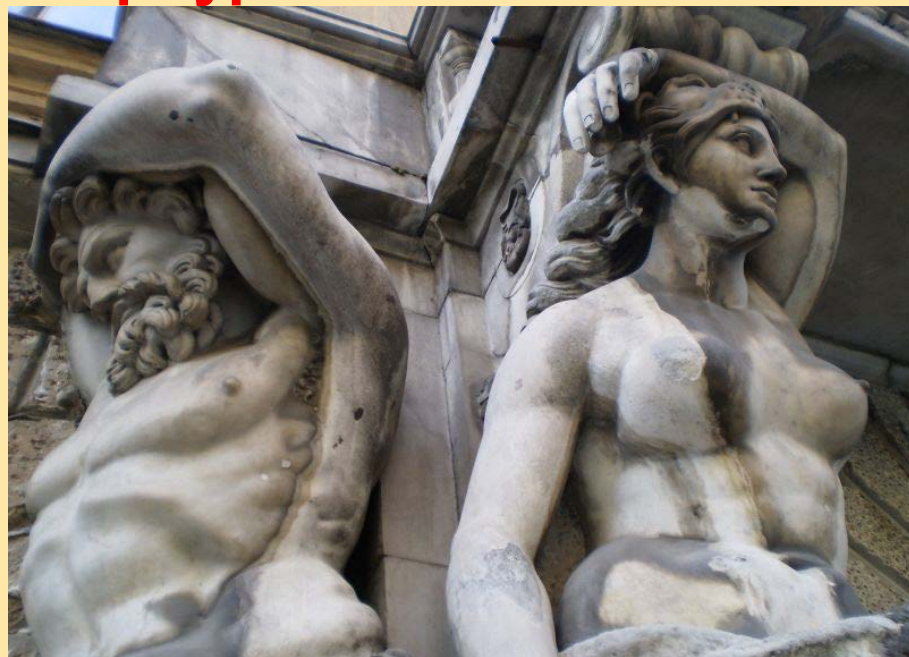
Стадия сульфатизации	Число видов микромицетов и их доминирующие виды	
I	4	<i>Aureobasidium pullulans</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i>
II	10	<i>Alternaria alternata</i> <i>Aureobasidium pullulans</i>
III	11	<i>Candida</i> sp. <i>Cladosporium cladosporioides</i>
IV	9	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>



Биокластер

Сферические
клетки
водорослей

Обогащенная гипсом патина на памятниках Санкт-Петербурга



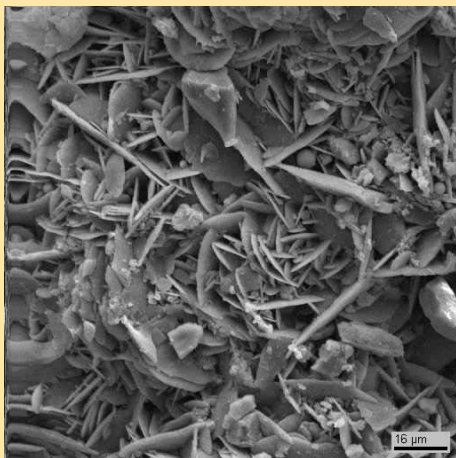
Дом заводчика
А. Демидова на Большой Морской ул.,
Архитектор О. Монферан



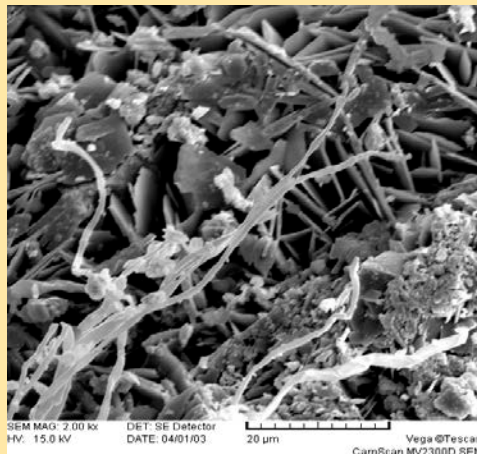
Отслаивание гипсовой корки вместе с породой.
Образование вторичной патины

Кристаллы гипса на поверхности различных пород

Каррарский мрамор



Рускеальский мрамор



Пудостский известняк

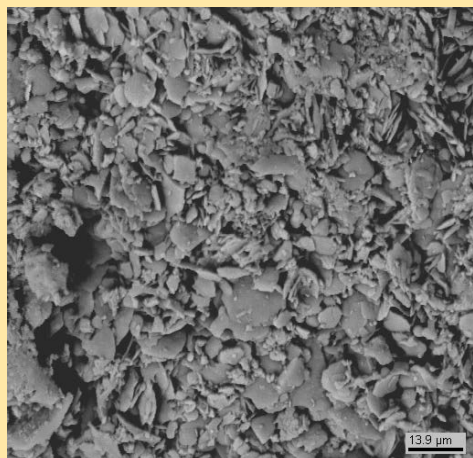


Розочки из пластинчатых кристаллов (15 - 20 μm)..

Пластинчатые кристаллы в трещине (до 30-40 μm)

Крупные призматические кристаллы (до 170 μm)

Путиловский известняк



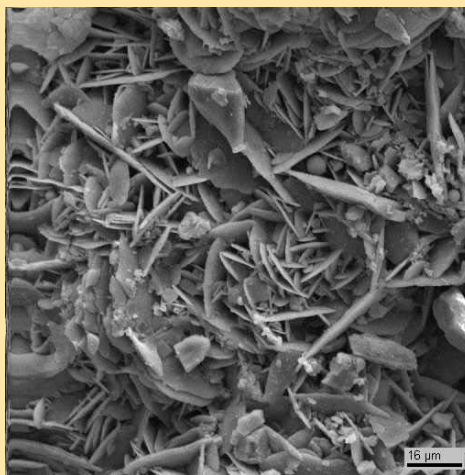
Кристаллы с закругленными ребрами (ср. размер~ 10 μm).

Степень сульфатизации зависит от трещиноватости и пористости подстилающей горной породы .

Влияние рельефа поверхности на интенсивность сульфатизации



Памятник со сложным рельефом поверхности

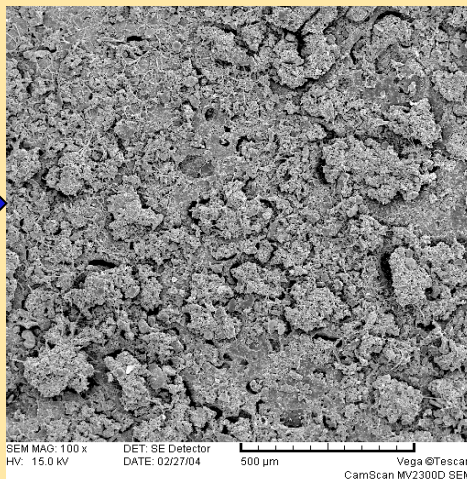


Интенсивная стадия сульфатизации

Сложный рельеф поверхности способствует аккумуляции влаги



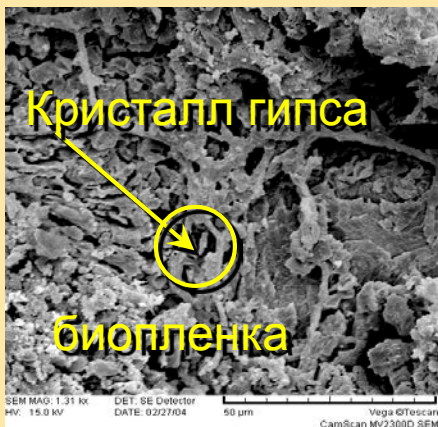
Плоский памятник



Начальная стадия сульфатизации

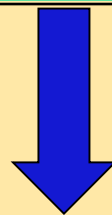
Интенсивность кристаллизации гипса зависит от локальных условий, способствующих аккумуляции влаги на поверхности монумента: трещиноватости и пористости породы, а также сложности рельефа поверхности.

Основные стадии образования обогащенной гипсом патины



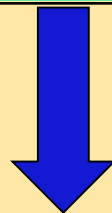
Начальная стадия

Редкие мелкие кристаллы гипса находятся
под биопленкой



Промежуточная стадия

Многочисленные кристаллы гипса,
между ними микроорганизмы.



Интенсивная стадия

Слой из кристаллов гипса.
Микроорганизмы находятся под ним.



Классификация форм разрушения камня в городской среде

