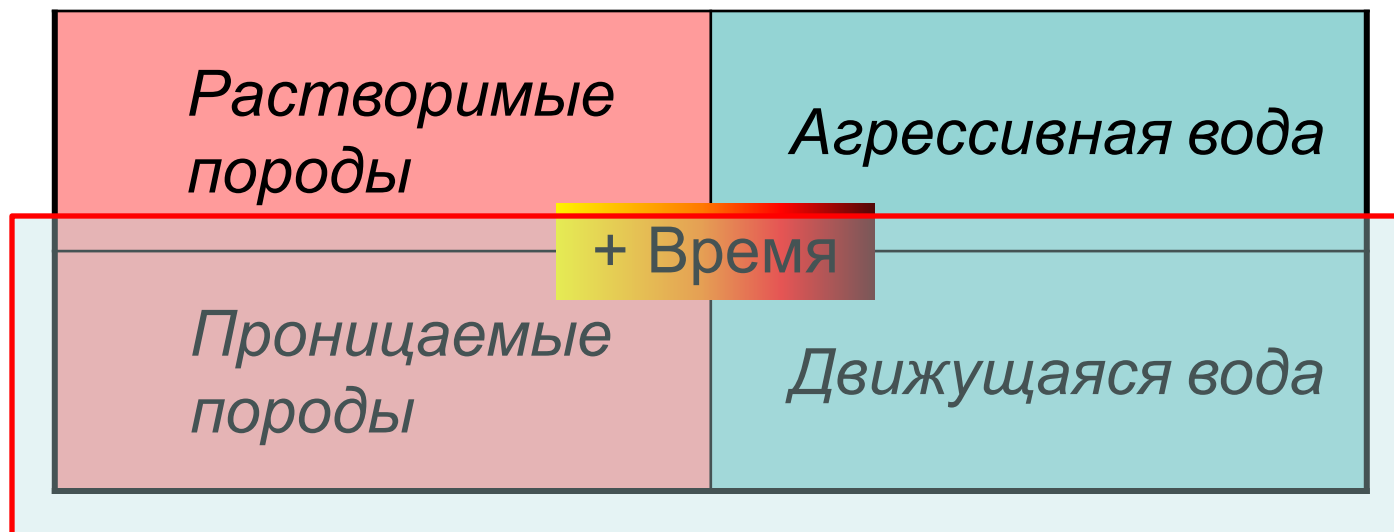


Происхождение карстовых полостей и их морфология

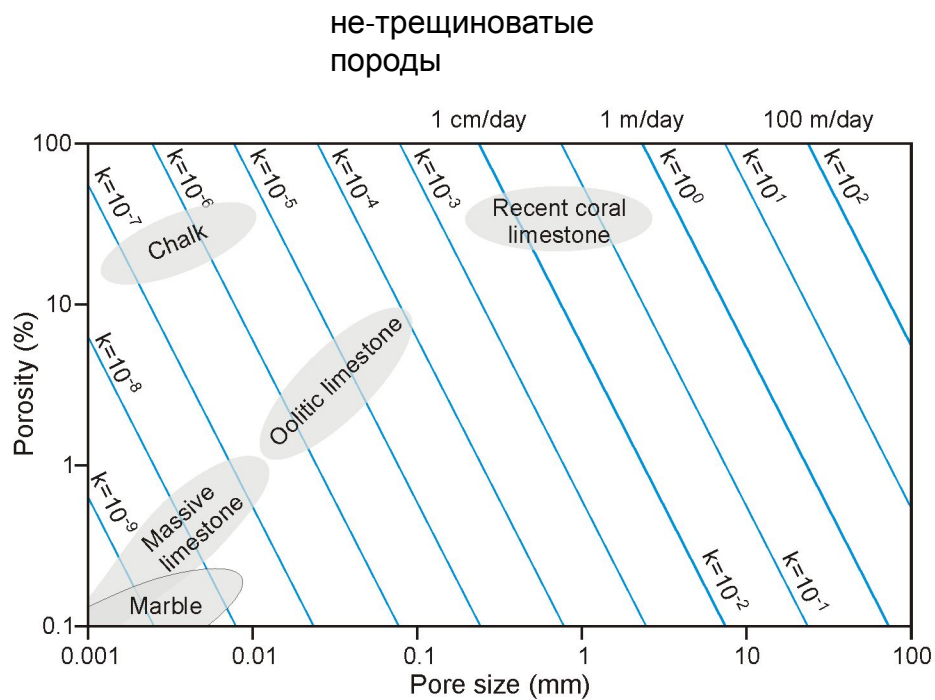
Photograph by Michael Nichols

Основные условия развития карста



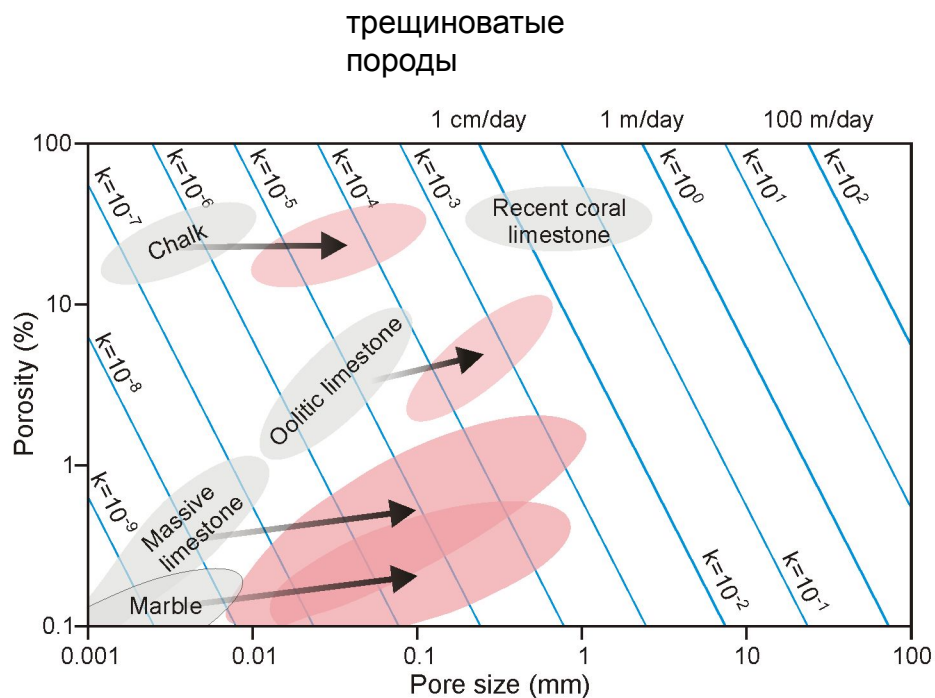
Основной результат
закарстования

Проницаемость пород



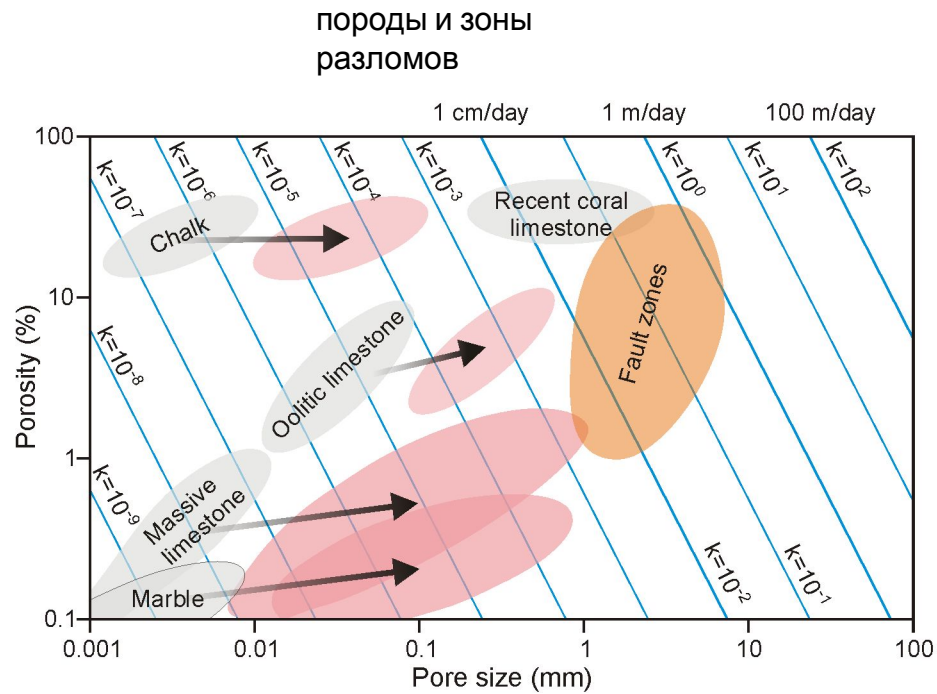
k - гидравлическая проводимость [м/день] = показывает, насколько легко вода движется по порам и трещинам

Проницаемость пород



k - гидравлическая проводимость [м/день] = показывает, насколько легко вода движется по порам и трещинам

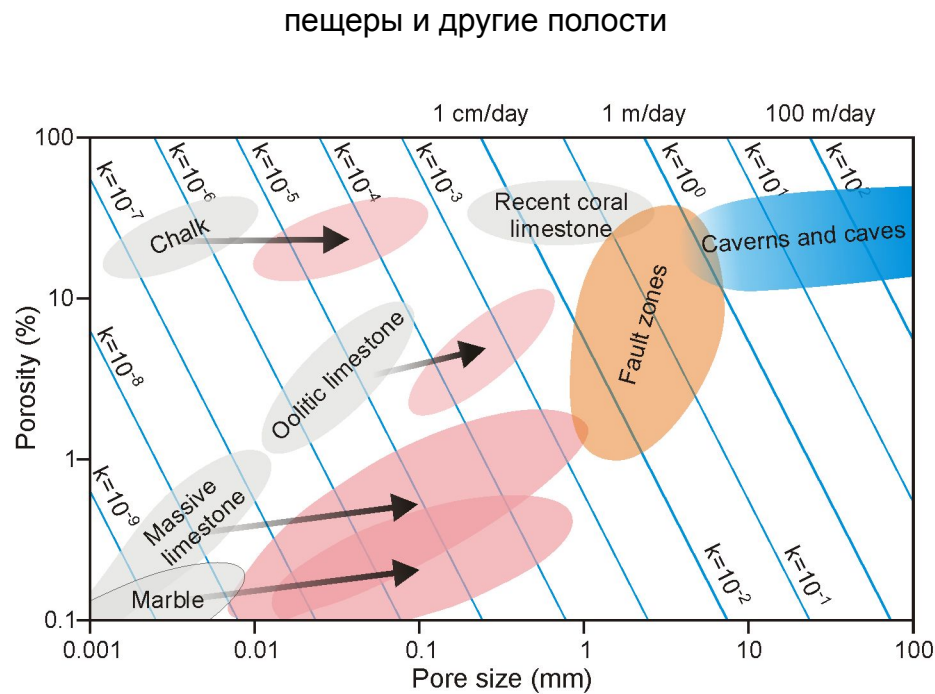
Проницаемость пород



k = hydraulic conductivity [m/day]

Smith et al. 1976, modified

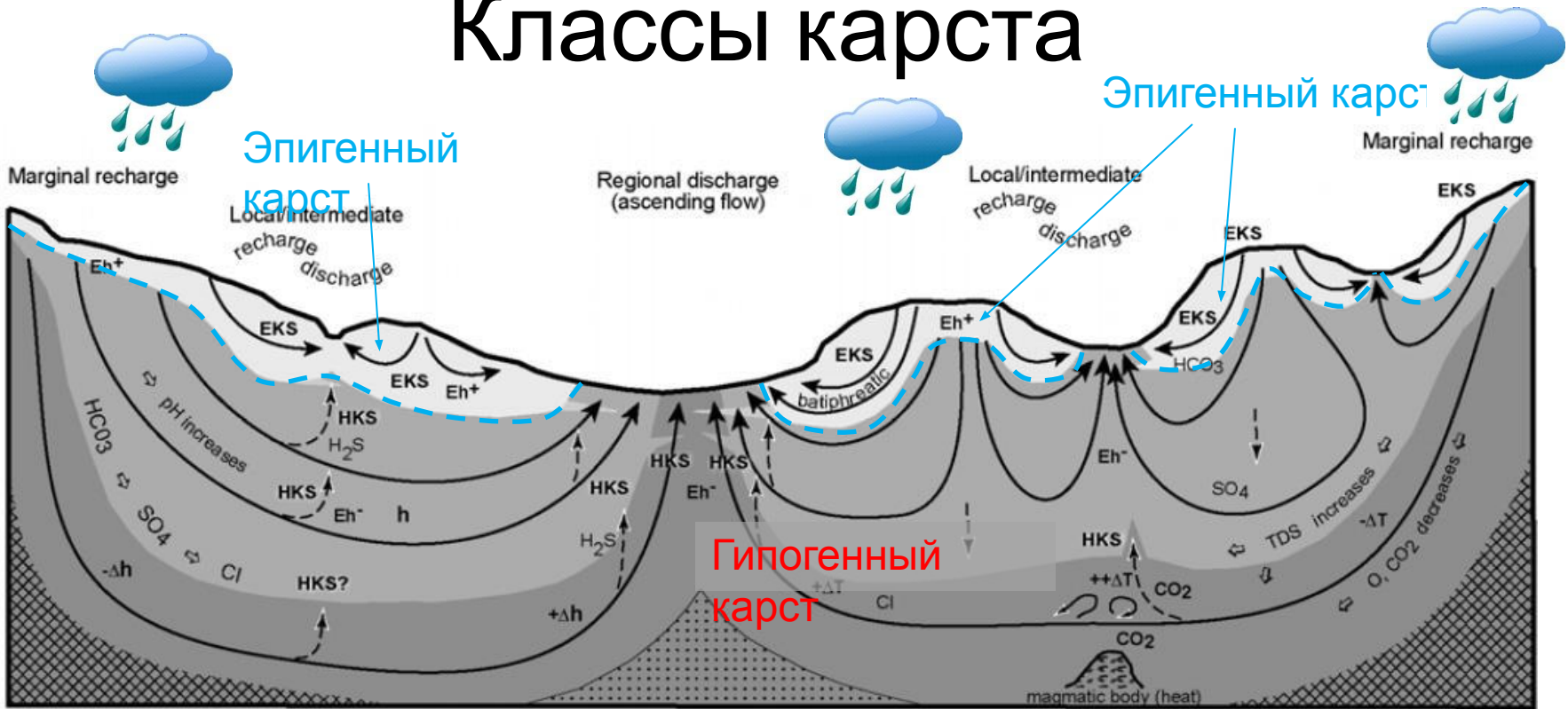
Результат закарстования



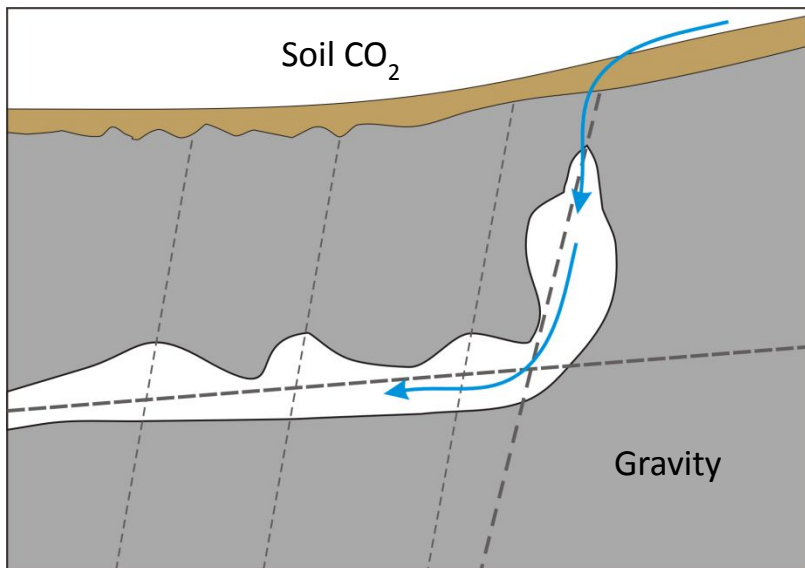
- Возрастание водопроницаемости и усиление циркуляции
- Изменение структуры циркуляции (фокусированный поток, анизотропия)

КЛАССЫ КАРСТА

Классы карста

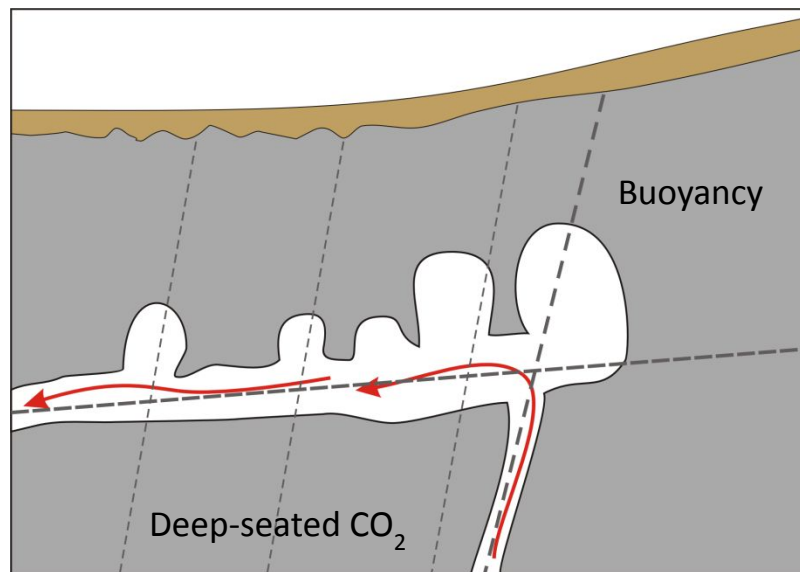


- Generalized flow lines
- Cross-formational flow
- Flow systems:
 - local
 - intermediate
 - regional (deep)
- Hydraulic heads:
 - $-\Delta h$ subhydrostatic
 - h hydrostatic
 - $+\Delta h$ superhydrostatic
- Hydraulic trap: convergence and accumulation of transported matter and heat
- Quasi-stagnant zone: increased TDS
- Geothermal temperature and gradient anomaly:
 - $+\Delta T$, $-\Delta T$ positive, negative
- Redox conditions:
 - Eh^+ oxidizing
 - Eh^- reducing
- CO_2 epigenic
- CO_2 hypogenic
- EKS** Epigenetic karst systems
- HKS** Hypogenic karst systems

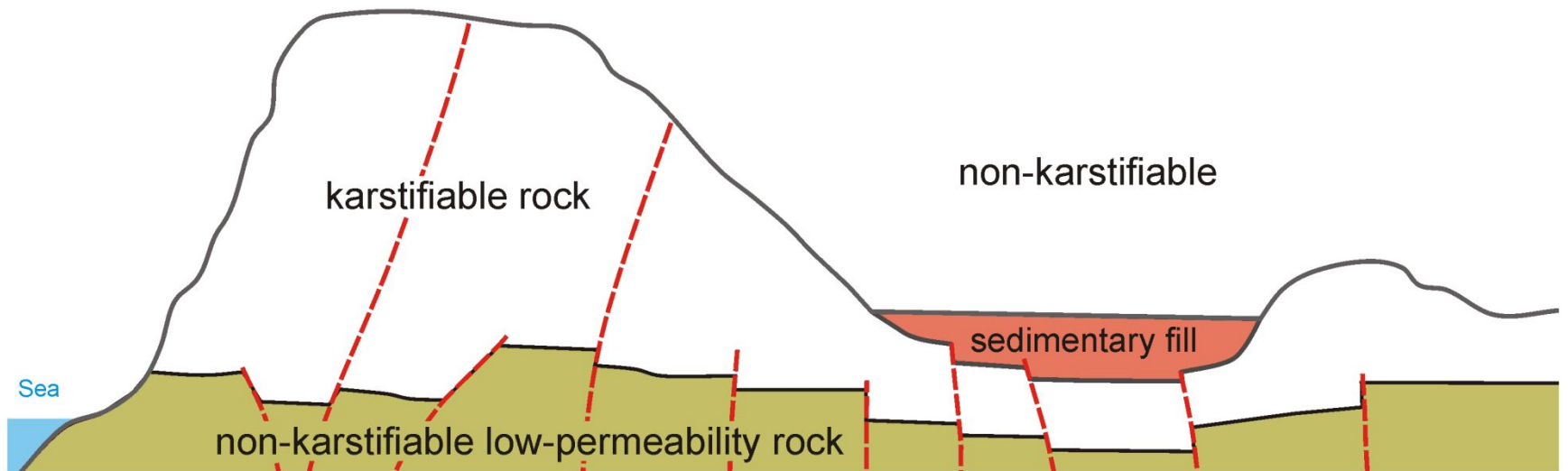


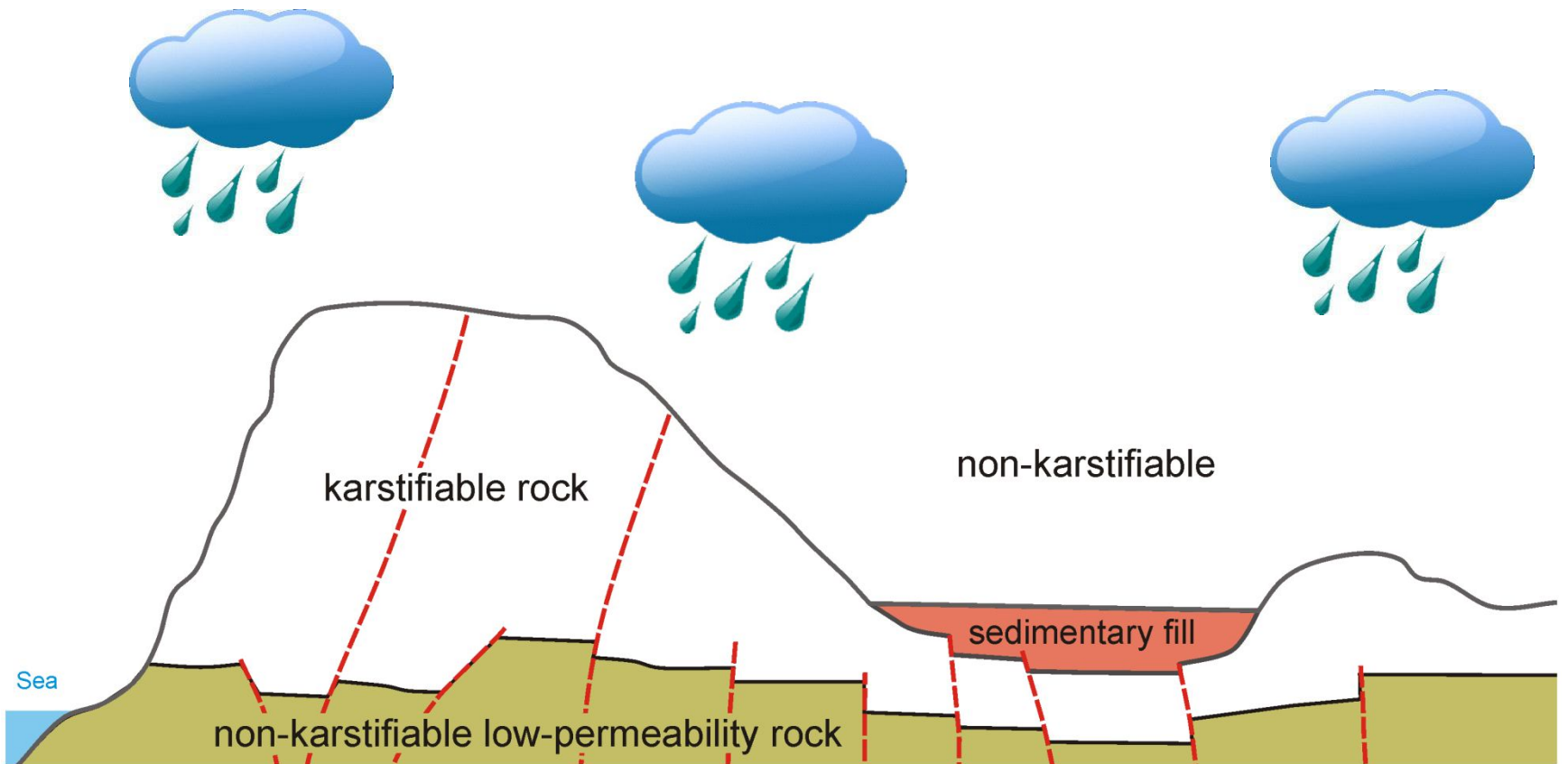
Эпигенный (“обычный”) карст

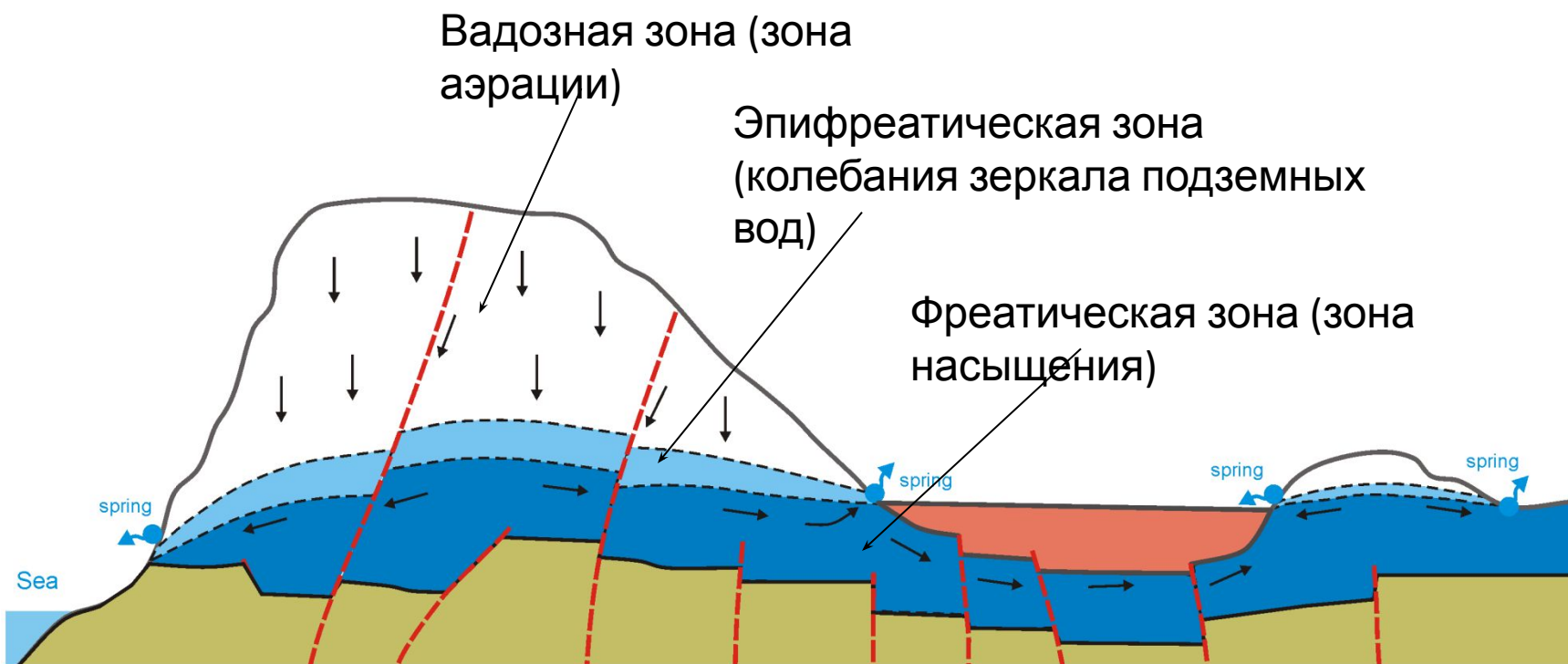
Гипогенный карст

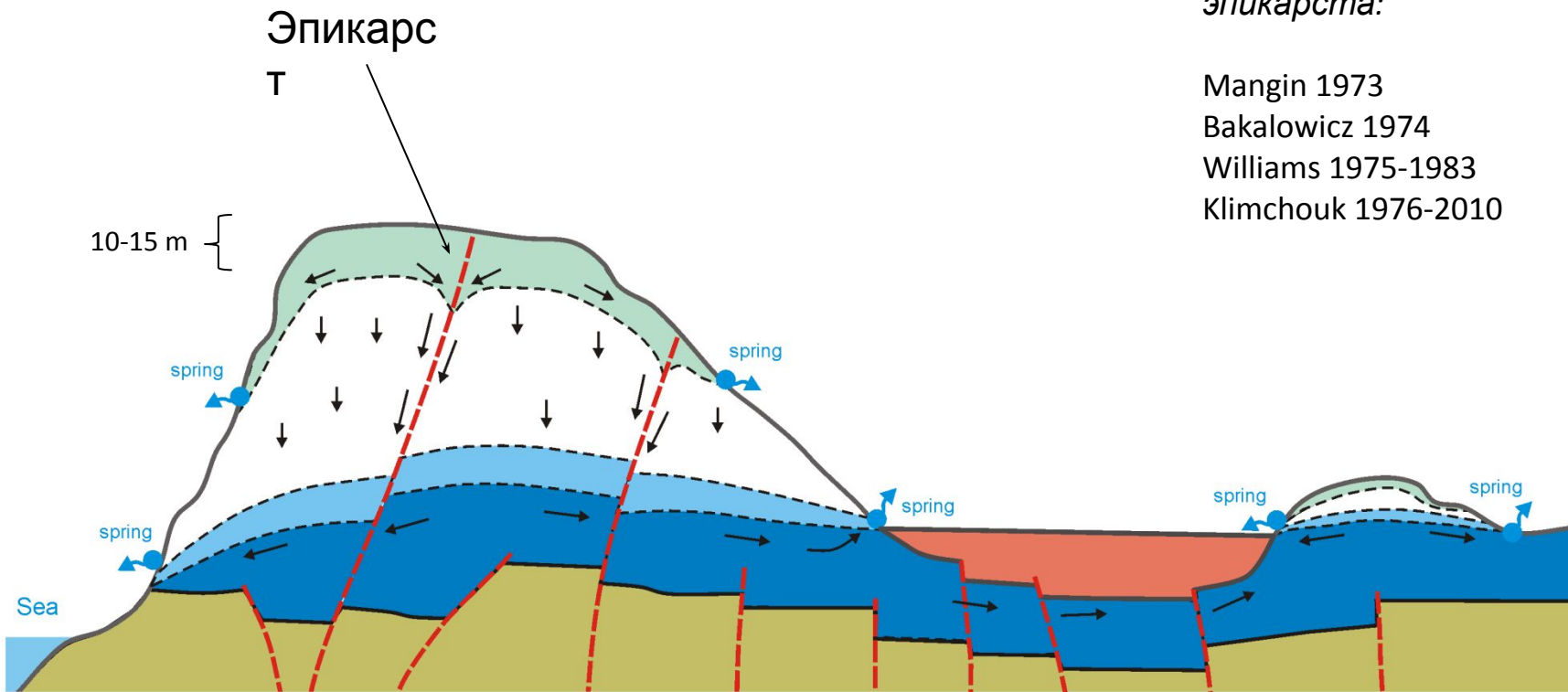


Эпигенный карст









*Концепция
эпикарста:*

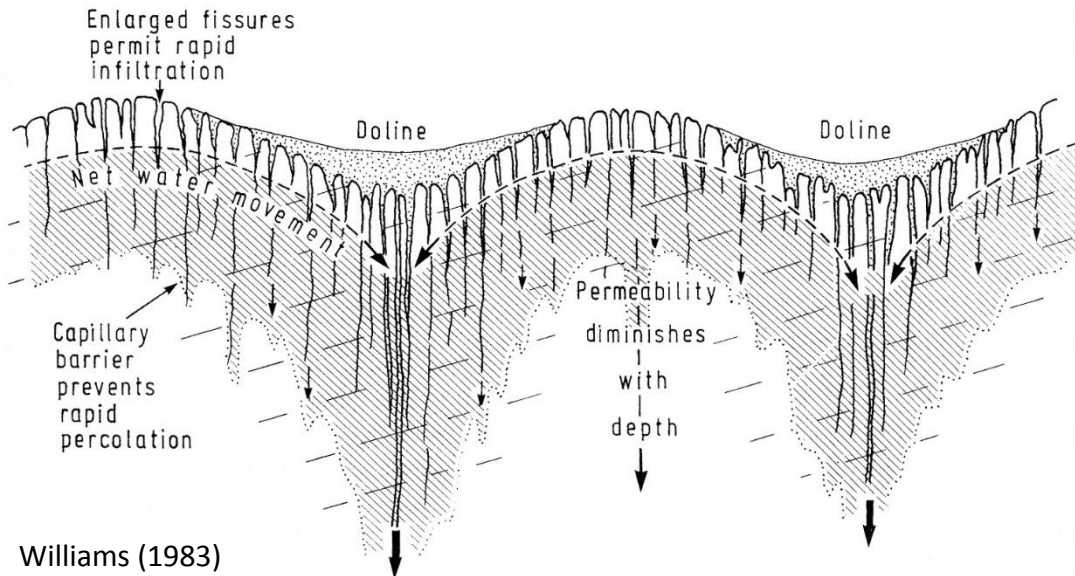
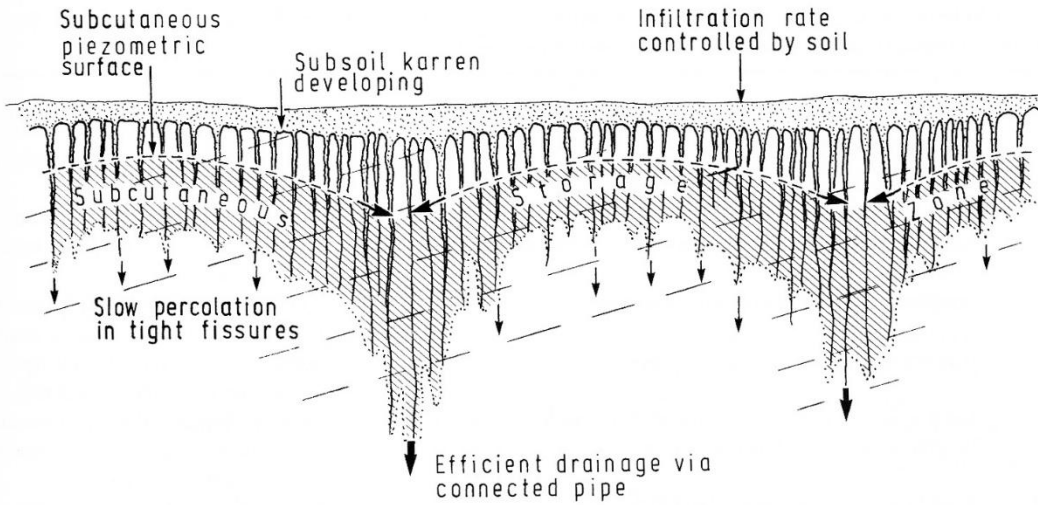
Mangin 1973

Bakalowicz 1974

Williams 1975-1983

Klimchouk 1976-2010

Эпикарст

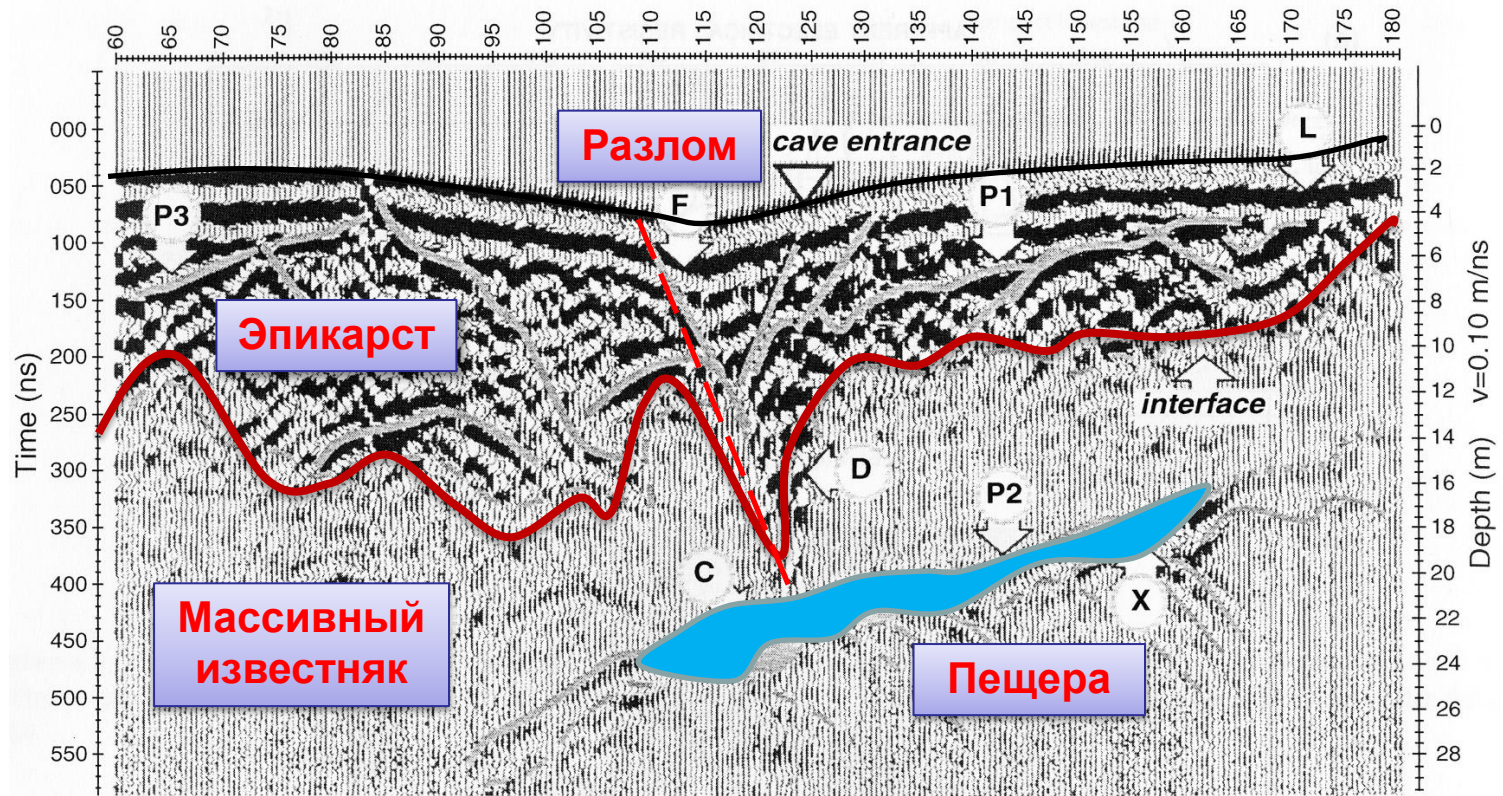


Фокусировка потоков по мере «созревания» эпикарста

Положительная обратная

СВЯЗЬ

Эпикарст



Al-Fares et al. (2002)

Георада
р

Пещеры вадозной зоны

Вадозной
колодеи

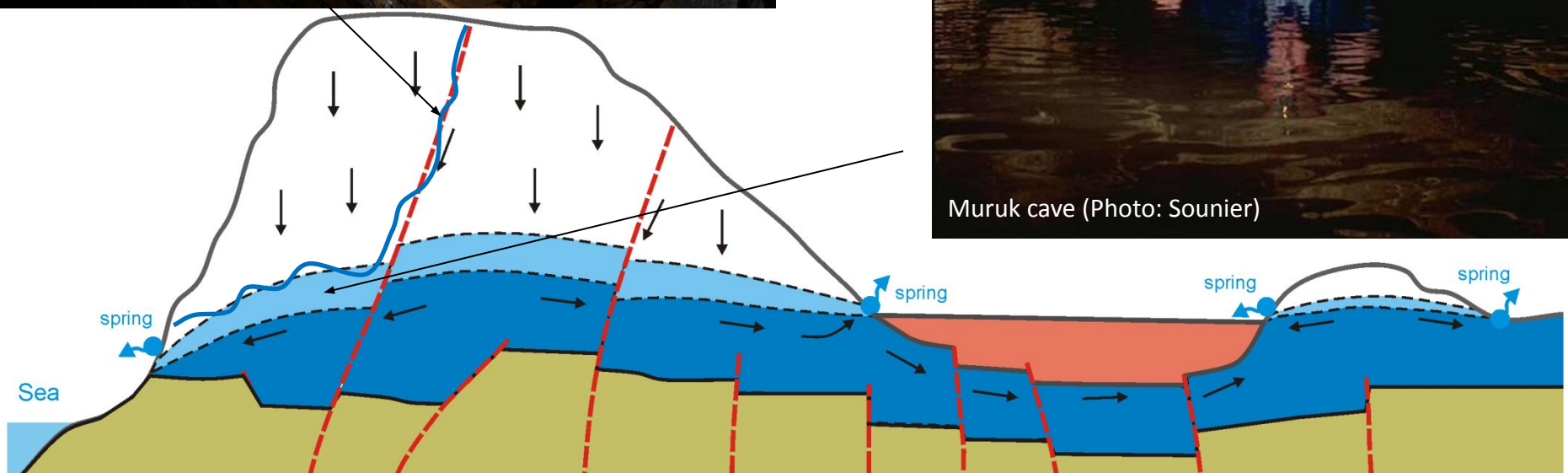


Miao Keng cave, China (Photo: Shone)

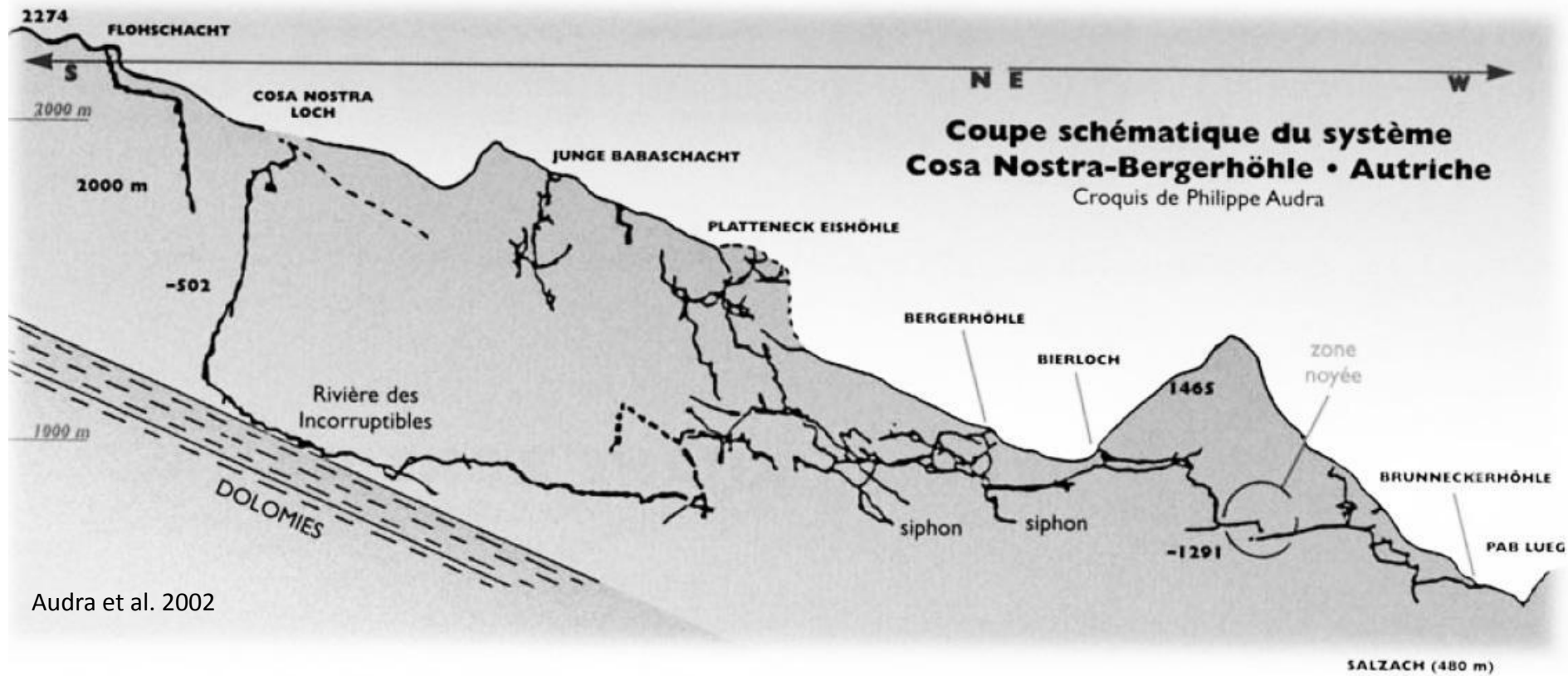
Пещера зеркала
подземных вод



Muruk cave (Photo: Sounier)



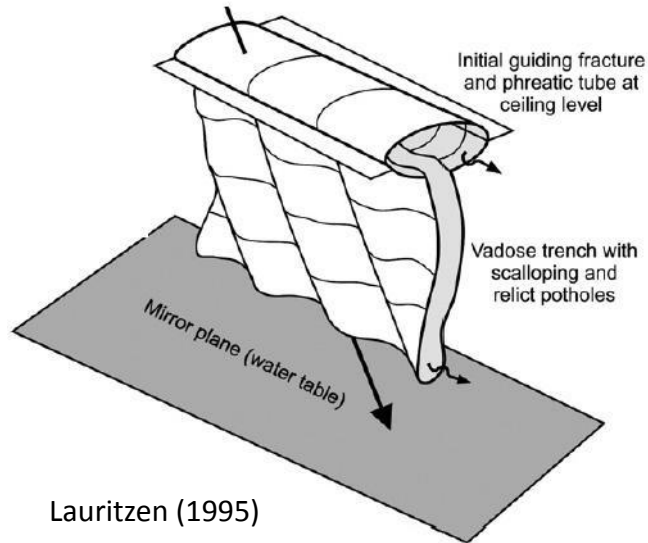
Пещеры вадозной зоны



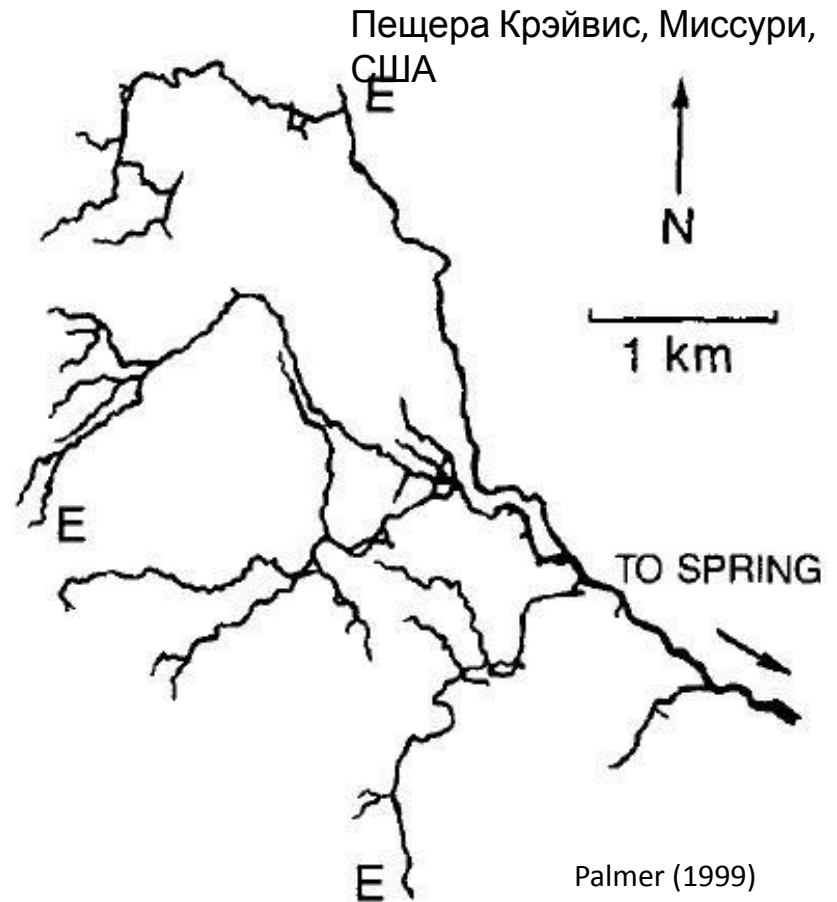
Audra et al. 2002

Система Коза Ностра-Бергерхёле в массиве Тенненгебирге (Зальцбург, Австрия)

Пещеры вадозной зоны



Меандры, вадозные каньёны



Древоподобная структура – концентрация потока

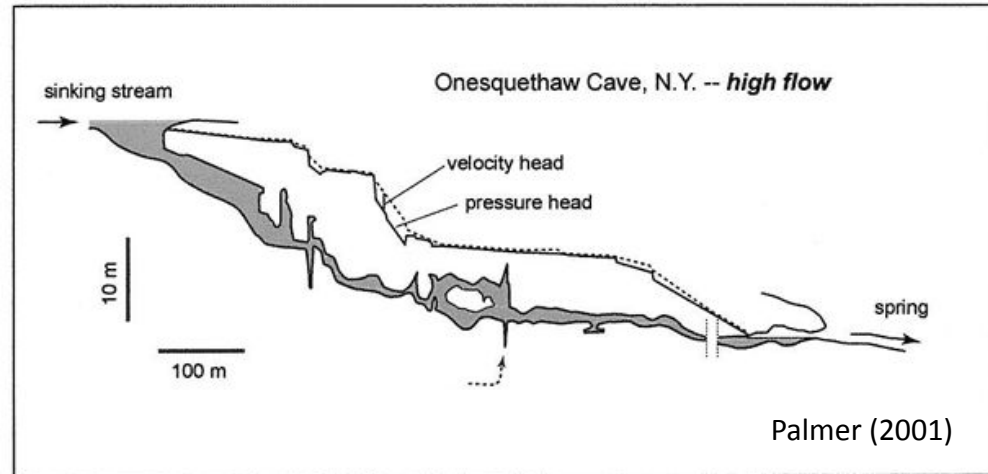
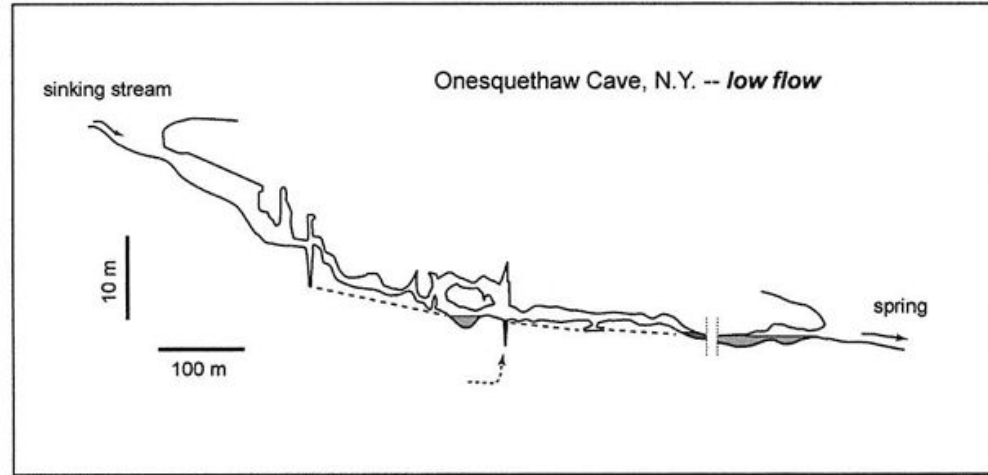
Скаллопс

Пещеры эпифреатической

зоны



Пещера Хёльлох в Швейцарии (фото Widmer & Ballmann)



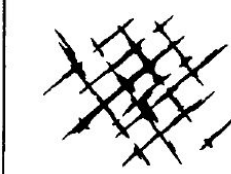
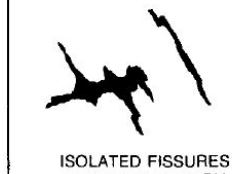



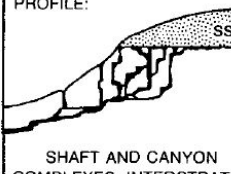


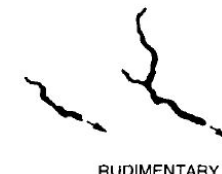

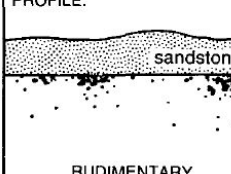




Palmer (2001)

Пещеры фреатической зоны



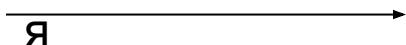
Структуры пещер

		TYPE OF RECHARGE				
		VIA KARST DEPRESSIONS		DIFFUSE		HYPOGENIC
		SINKHOLES (LIMITED DISCHARGE FLUCTUATION)	SINKING STREAMS (GREAT DISCHARGE FLUCTUATION)	THROUGH SANDSTONE	INTO POROUS SOLUBLE ROCK	DISSOLUTION BY ACIDS OF DEEP-SEATED SOURCE OR BY COOLING OF THERMAL WATER
DOMINANT TYPE OF POROSITY		BRANCHWORKS (USUALLY SEVERAL LEVELS) & SINGLE PASSAGES	SINGLE PASSAGES AND CRUDE BRANCHWORKS, USUALLY WITH THE FOLLOWING FEATURES SUPERIMPOSED:	MOST CAVES ENLARGED FURTHER BY RECHARGE FROM OTHER SOURCES	MOST CAVES FORMED BY MIXING AT DEPTH	
FRACTURES		 ANGULAR PASSAGES	 FISSURES, IRREGULAR NETWORKS	 FISSURES, NETWORKS	 ISOLATED FISSURES AND RUDIMENTARY NETWORKS	 NETWORKS, SINGLE PASSAGES, FISSURES
	BEDDING PARTINGS	 CURVILINEAR PASSAGES	 ANASTOMOSES, ANASTOMOTIC MAZES	PROFILE:  SHAFT AND CANYON COMPLEXES, INTERSTRATAL SOLUTION	 SPONGEWORK	 RAMIFORM CAVES, RARE SINGLE-PASSAGE AND ANASTOMOTIC CAVES
	INTERGRANULAR	 RUDIMENTARY BRANCHWORKS	 SPONGEWORK	PROFILE:  sandstone RUDIMENTARY SPONGEWORK	 SPONGEWORK	 RAMIFORM & SPONGEWORK CAVES

Второстепенные спелеогенетические процессы

- Тектоника
- Эрозия
- Обрушение
- Абразия (берега)

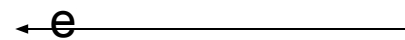
Эрози
я



© Barcroft Media

Ханг Сон Дунг (Пещера Горной Реки),
Вьетнам

Обрушени

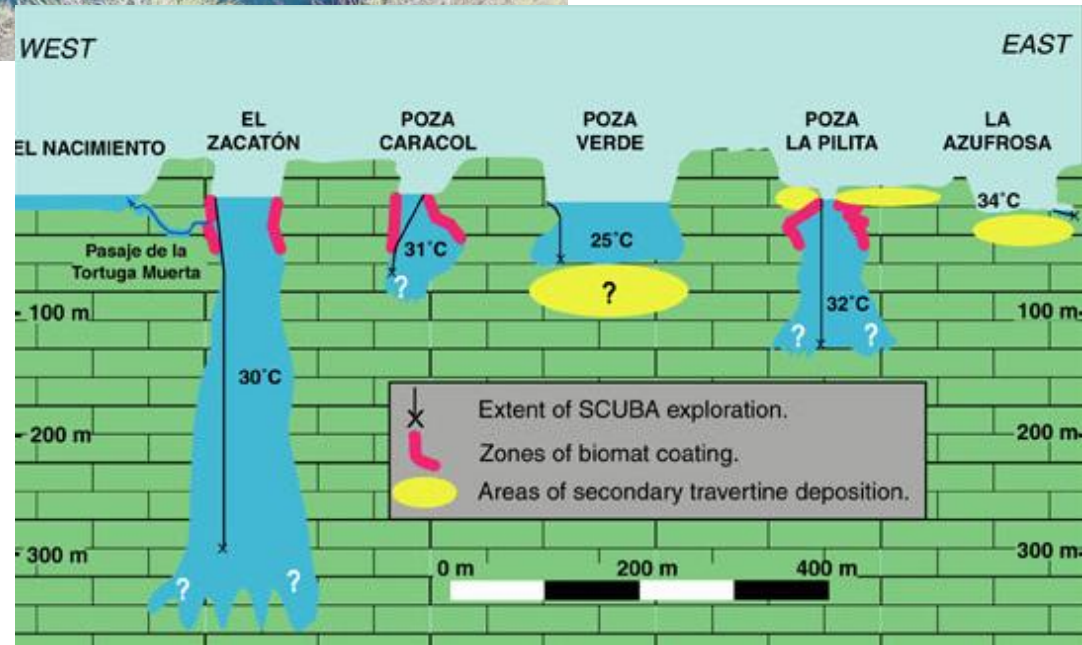


Ордынская пещера,
Удмуртия

Гипогенный карст

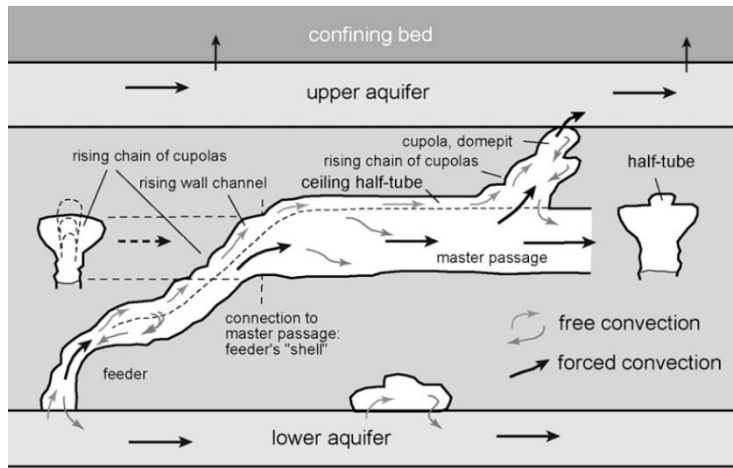


Сеноте Эль Закатон,
Мексика



Gary & Sharp (2009)

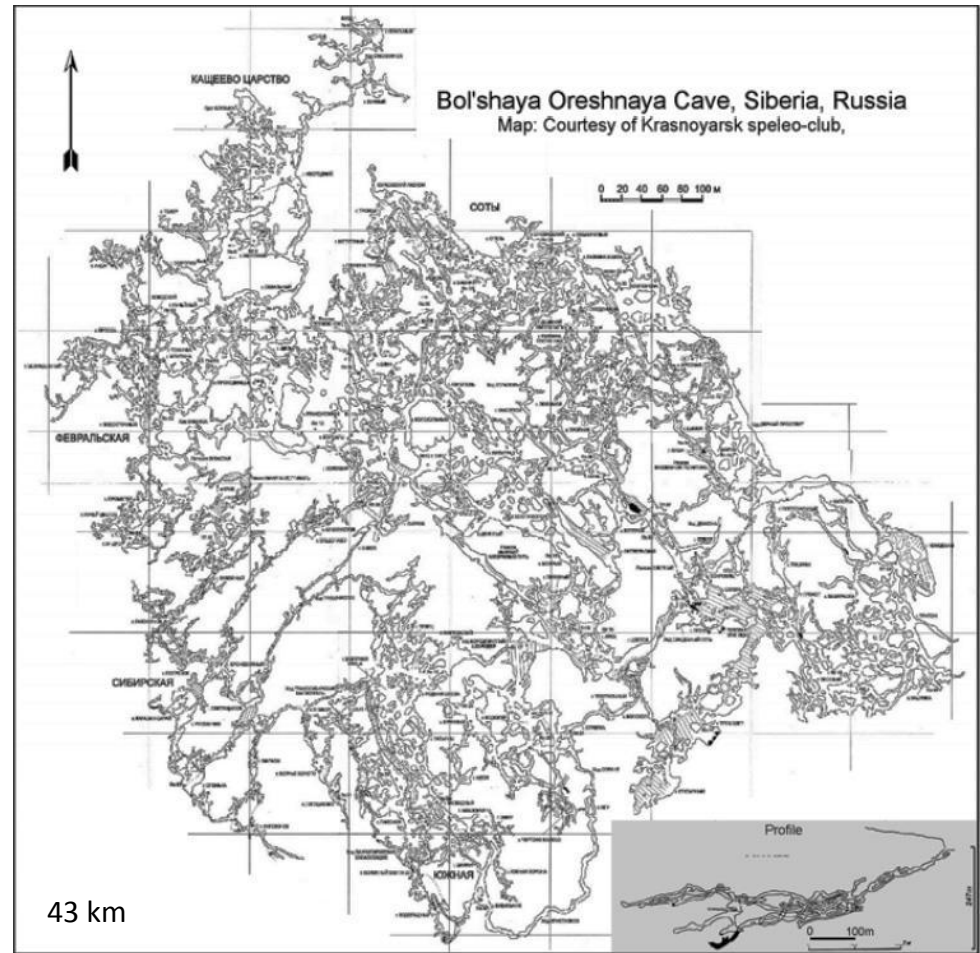
Гипогенный карст



*Морфологические
признаки
восходящего потока*

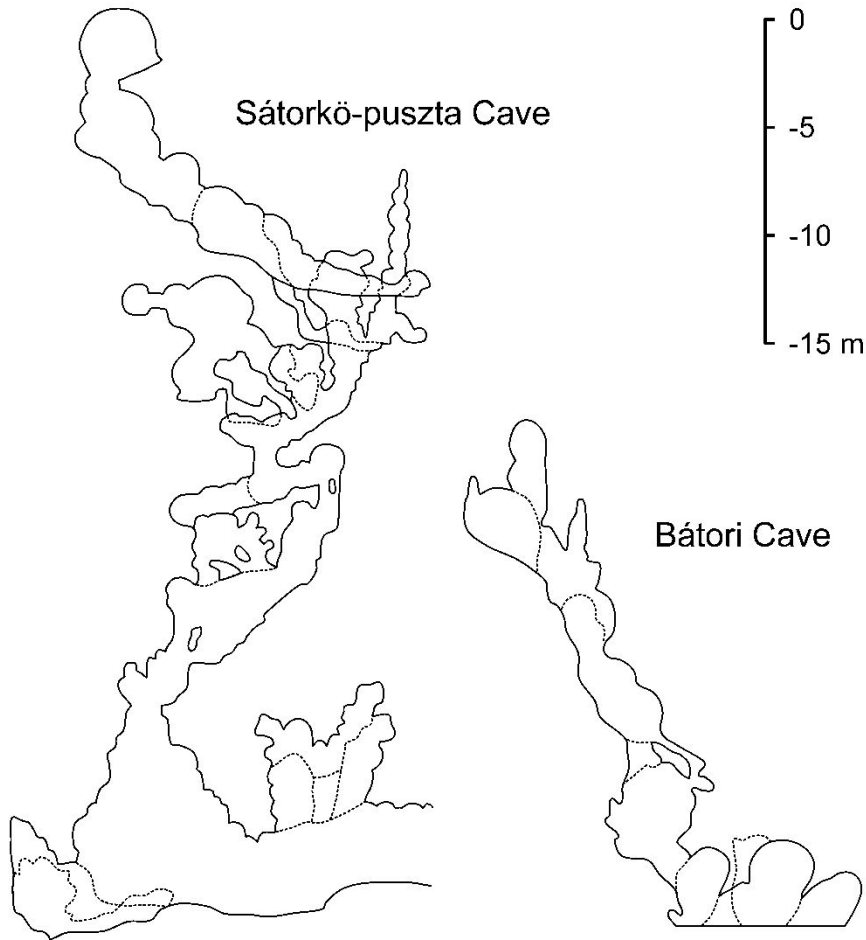
Klimchouk (2007)

*Подавляется обратная
связь
между интенсивностью
потока и ростом канала –
нет фиксирования потока*



Klimchouk (2007)

Гипогенный карст



Дополнительный процесс:
коррозия конденсации над
поверхностью термальных
ВОД

Две Гипогенный пещеры,
Венгрия

Dublyansky (2004)

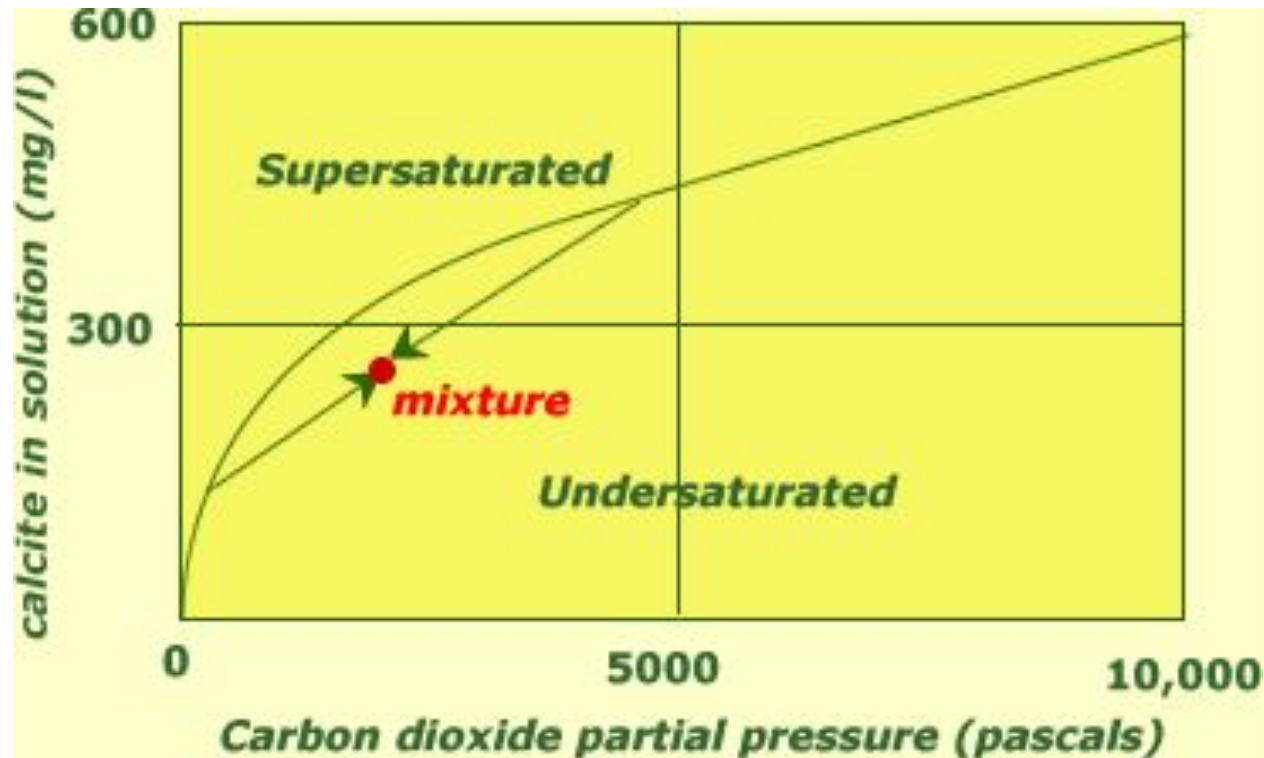


Photo Lukas Plan

Гипогенный карст



Важный механизм: коррозия смешивания



Для памяти:



- Эпигенный и гипогенный классы карста
- Эпигенный карст, зоны: -эпикарст, -вадозная зона, - эпифреатическая зона, -фреатическая зона
- Эпигенный карст : положительная обратная связь между потоком и развитием полостей (фокусирование потока, индивидуальные ходы)
- Гипогенный карст : нет положительной обратной связи (равномерное увеличение ходов)
- Дополнительный спелеогенетические процессы (эпигенные): - тектоника, -эрозия, -обрушение; -абразия
- Дополнительный спелеогенетические процессы (гипогенные): - тектоника, -обрушение, -коррозия конденсации