

# **Общая геология**

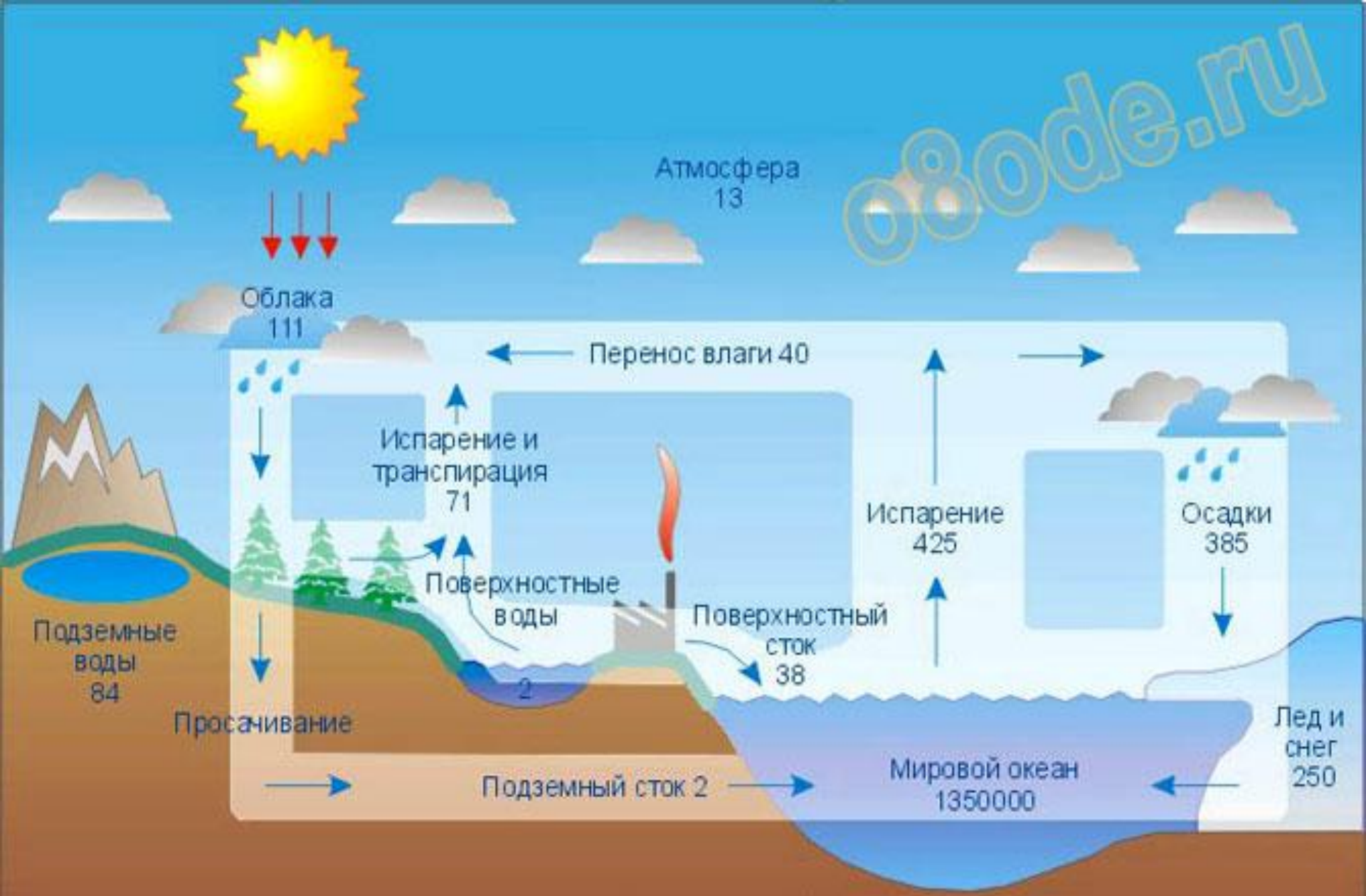
## ***Лекция №11***

### **Подземные воды Карст**



# План лекции

1. Определение и основные характеристики подземных вод
2. Происхождение подземных вод
3. Условия нахождения
4. Геологическая деятельность подземных вод
5. Карстовые процессы и формы рельефа
  - 5.1. Наземные формы
  - 5.2. Подземные формы
6. Карстово-суффозионные и суффозионные процессы
7. Опасные явления, связанные с деятельностью подземных вод, карстовыми и карстово-суффозионными процессами



# Круговорот воды в природе (тыс. км<sup>3</sup>)

Источник: ВМО

# ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

К подземным водам относятся вся вода, находящиеся в недрах Земли в жидком, парообразном и твердом состоянии и заполняющие поры, пустоты и трещины в горных породах

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

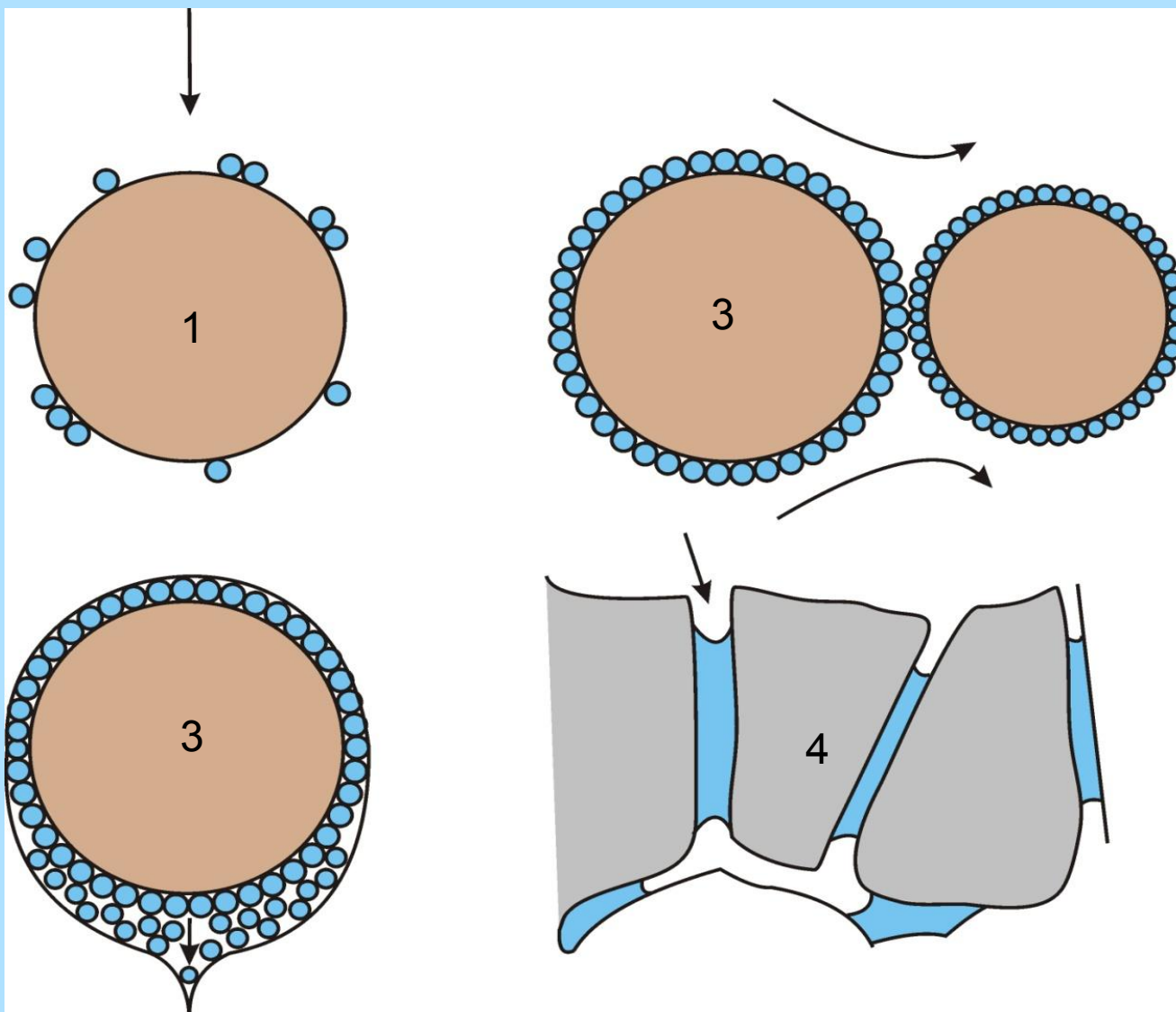
1. По происхождению,
2. Физическому состоянию,
3. По характеру вмещающих грунтов,
4. Гидравлическим условиям,
5. Температуре,
6. Минерализации и химическому составу,
7. Характеру залегания.

# Формы нахождения воды в горных породах

Вода в горных породах может находиться в парообразном, твердом и жидком агрегатном - состоянии, в связанном виде - *кристаллизационная, конституционная, гигроскопическая, пленочная* и *капиллярная вода* и в свободном виде - *гравитационная (свободная) вода*.

Гравитационная вода может перемещаться и выполнять механическую и химическую работу.

# Формы нахождения воды<sup>2</sup> в горных породах



Виды воды: 1 – прочносвязанная (гигроскопическая), 2 – рыхлосвязанная (пленочная), 3 – капельно-жидкая (гравитационная), 4 – капиллярная.

# Происхождение подземных вод

По происхождению различают воды:

## Экзогенные:

**Инфильтрационные**, образованные в результате просачивания атмосферных осадков и вод рек, озер, морей и т.д. в толщу горных пород;

**Конденсационные**, образованные из влаги атмосферного влажного воздуха, проникающего в почву и горные породы, в результате конденсации в порах пород.

**Седиментогенные**, образованные в результате захоронения вод бассейна осадконакопления вместе с осадками, высокоминерализованные и сильно измененные под влиянием давления и температуры;

## Эндогенные :

**Метаморфогенные, или возражденные**, образованные в результате дегидратации под действием температуры и давления минералов, содержащих в своем составе воду.

**Магматогенные**, или ювенильные, образованные в результате отделения от магмы паров воды;



# Горные породы

## Коллекторы

(проницаемые водой, вода в них может скапливаться)



Коллекторские свойства горных пород определяются:

- пористостью, выражаемой отношением объема всех пор к объему всей породы:  $n = n_p / n \times 100\%$ ;
- водопроницаемостью

## Водоупоры

(непроницаемые и крайне слабопроницаемые для воды)



Водоупорными являются глины, тяжелые суглинки, сцементированные и массивные породы.

# Пористость некоторых горных пород

Горная порода	Средние значения коэф. пористости, %
Торф	80
Песок	25-35
Глина	20-40
Мрамор	2
гранит	1

***Водопроницаемость*** - способность грунтов пропускать через себя воду под действием силы тяжести или градиентов гидростатического давления.

Зависит от:

- размера и формы частиц грунта,
- размера и количества пор и трещин в грунте
- гранулометрического состава.

# Степень водопроницаемости горных пород

Группы грунтов	Тип грунта	Коэффициент фильтрации, $K_f$
Высокопроницаемые	Гравий	около 100
Водопроницаемые	Пески, трещиноватые породы	0,1-10
Слабоводопроницаемые	Суглинки, глины	0,001 – 0,01
Водоупоры	Плотные глины, скальные породы (не трещиноватые)	Менее 0,000001

# Расположение подземных вод в массиве горных пород



Схема строения области развития подземных вод.

1 – капиллярно-подвешенная вода, 2 – капиллярно-поднятая вода (капиллярная кайма), 3 - зеркало грунтовых вод, 4 – зона насыщения, 5 – кровля слабопроницаемых пород, 6 – водопроницаемые породы, 7 – слабопроницаемые породы, 8 – направление движения вод

Зона свободного доступа воздуха в толще горных пород называется **зоной аэрации**.

В **зоне аэрации** различают воды:

□ **Почвенные**, связанные с инфильтрацией атмосферных осадков и различных поверхностных вод;

□ **Верховодка** – воды, образующиеся на небольшой глубине, задерживаемые линзами и прослоями водоупорных пород.

В **зоне насыщения** различают воды:

□ **Грунтовые**, залегающие на первом водоупорном горизонте, из – за отсутствия водоупорной кровли подпитываемые атмосферной влагой;

□ **Межпластовые** воды, среди которых, в свою очередь различают:

✓ **ненапорные** – залегающие между двумя водоупорными толщами и не насыщающие весь водоносный горизонт;

✓ **напорные** подземные воды (артезианские) залегают между двумя водоупорными толщами, насыщают весь водоносный горизонт и обладают гидростатическим напором. Большие скопления напорных вод – **артезианские бассейны**, находятся обычно в прогибах. Артезианские воды способны образовывать восходящие источники, «бьющие ключи».

Верхняя граница грунтовых вод – **уровень**, или **зеркало, грунтовых вод**.

Горизонт пород насыщенных водой и находящийся над водоупорным горизонтом называется **водоносным горизонтом**.

По направлению уклона местности **подземные воды движутся** под действием собственного веса по порам и трещинам. Разгрузка происходит в пониженных участках в виде нисходящих **источников** (родников).

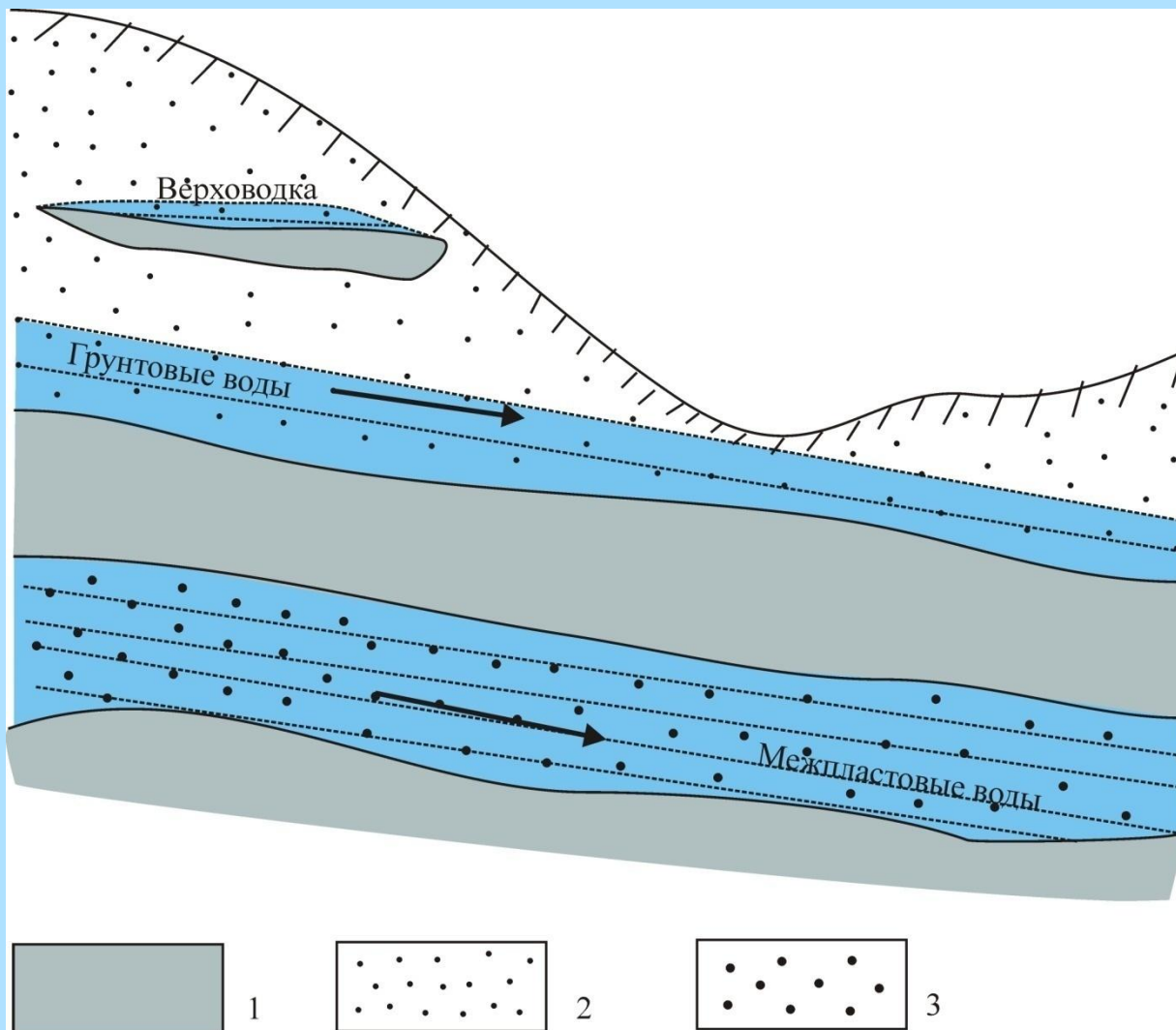
Выходы  
грунтовых вод



Выходы грунтовых вод на склоне, нисходящие источники, приуроченные к зонам трещиноватости. Тянь-Шань (фото А.А. Зарщикова)



# Типы подземных вод



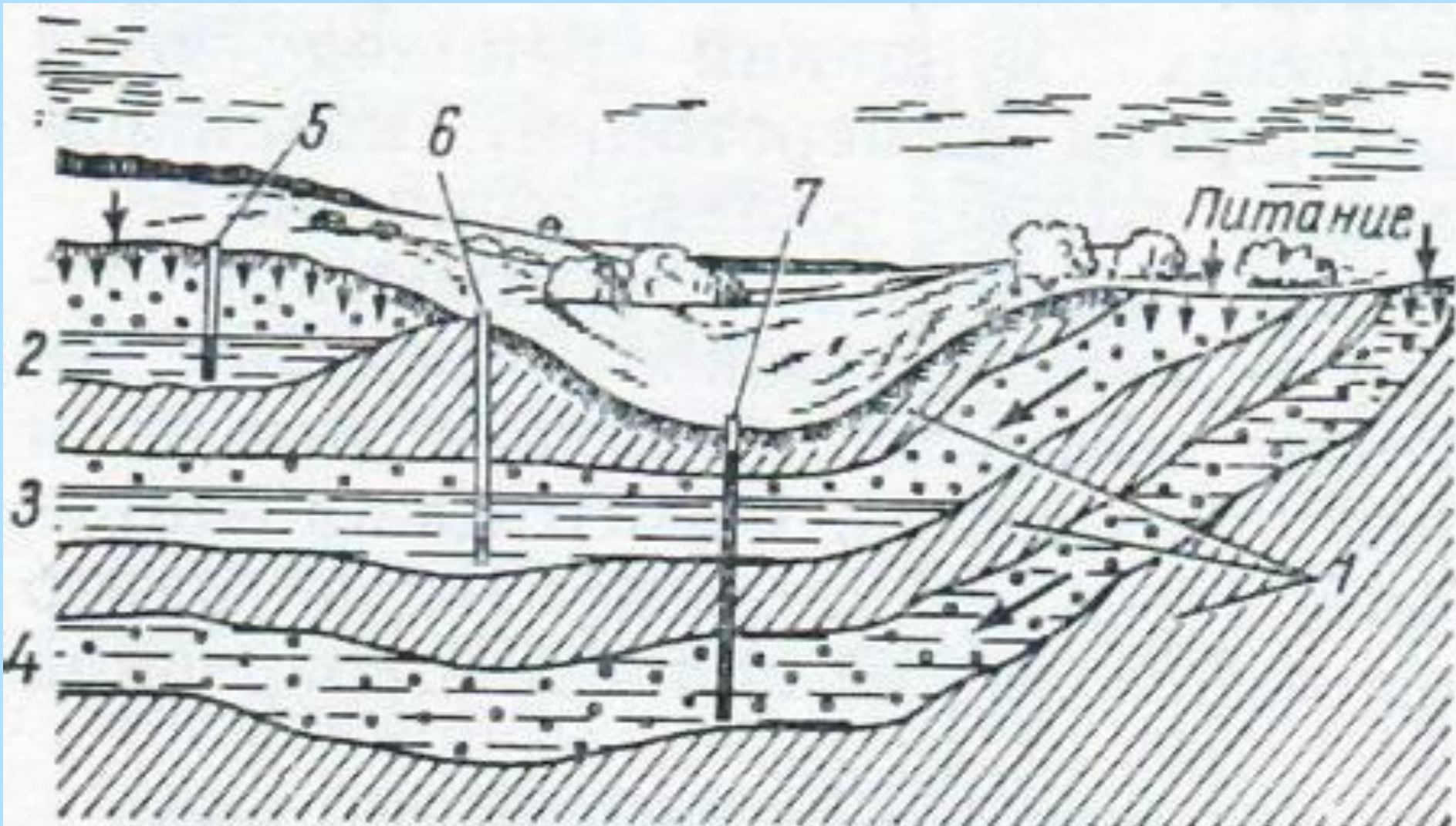
**Верховодка** – временное скопление воды на локальном водоупоре

**Грунтовые воды** – верхний постоянный водоносный горизонт

**Межпластовые воды** – располагаются между двумя водоупорами, они могут обладать напором



# Напорные и ненапорные межпластовые воды



# Гидростатический напор артезианских вод

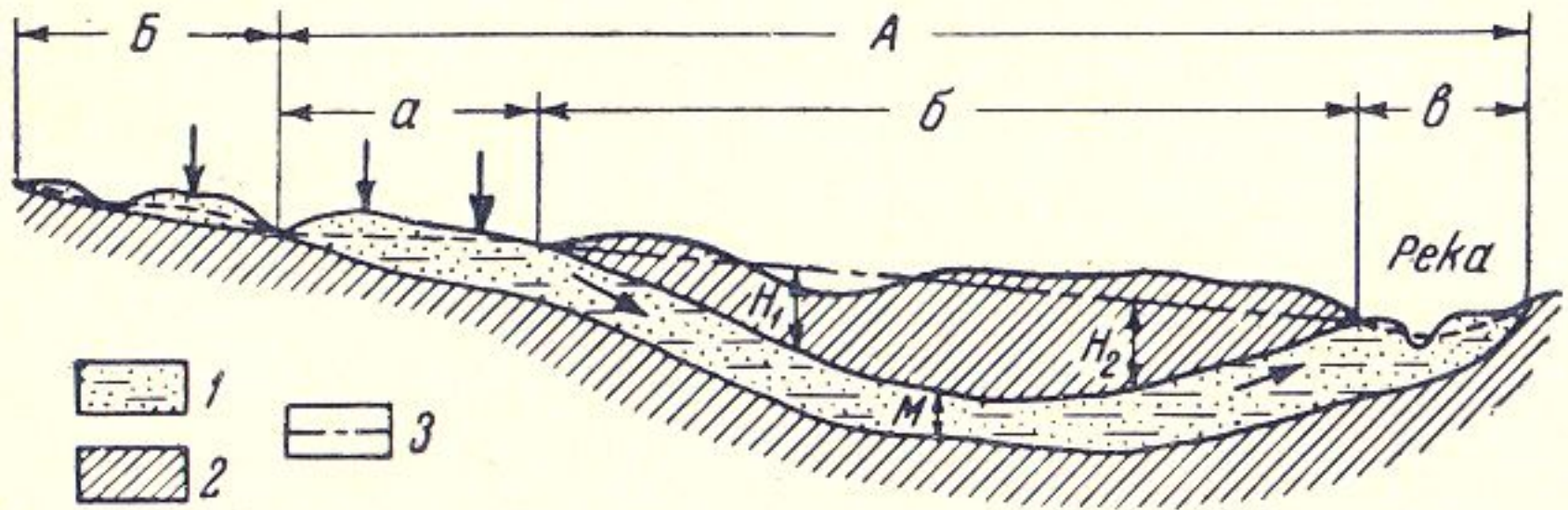
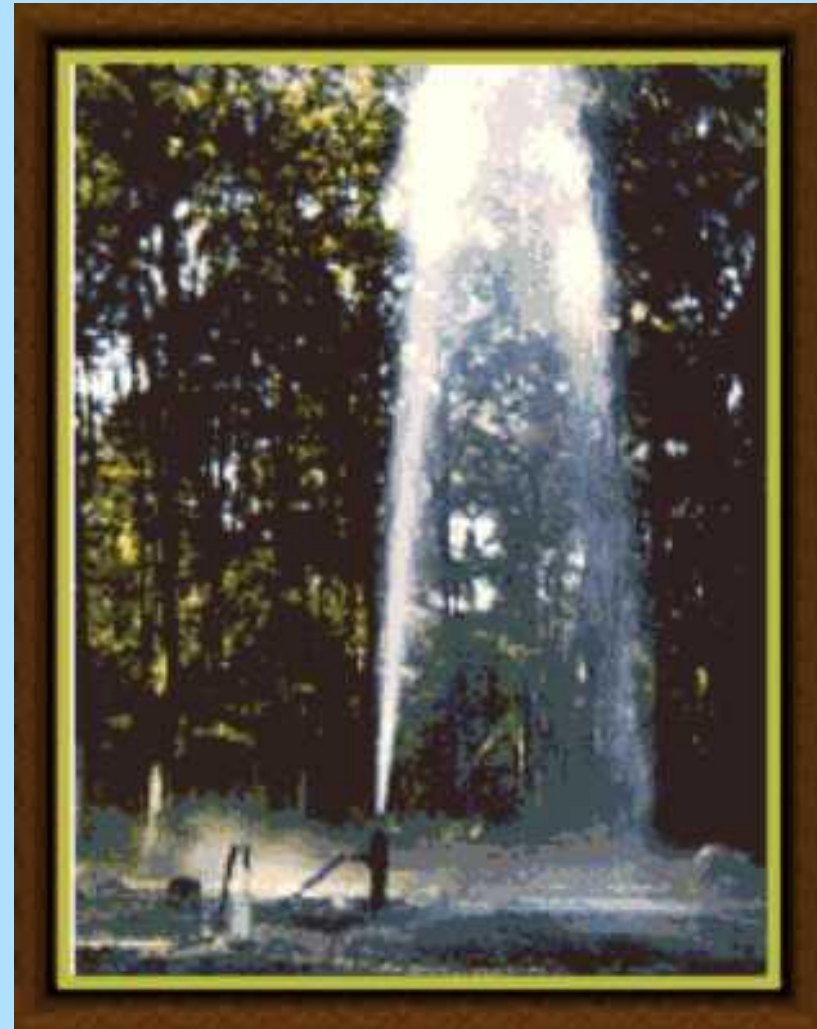


Рис. 67. Разрез артезианского бассейна  
(по А. М. Овчинникову):

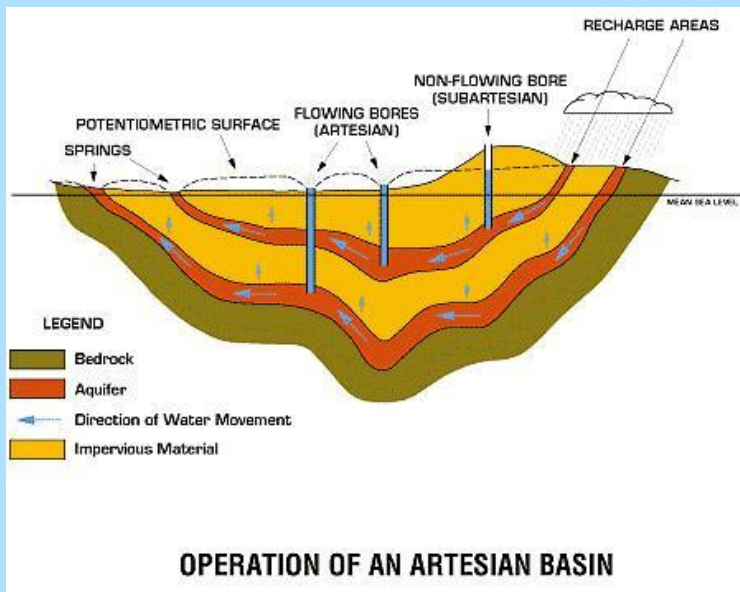
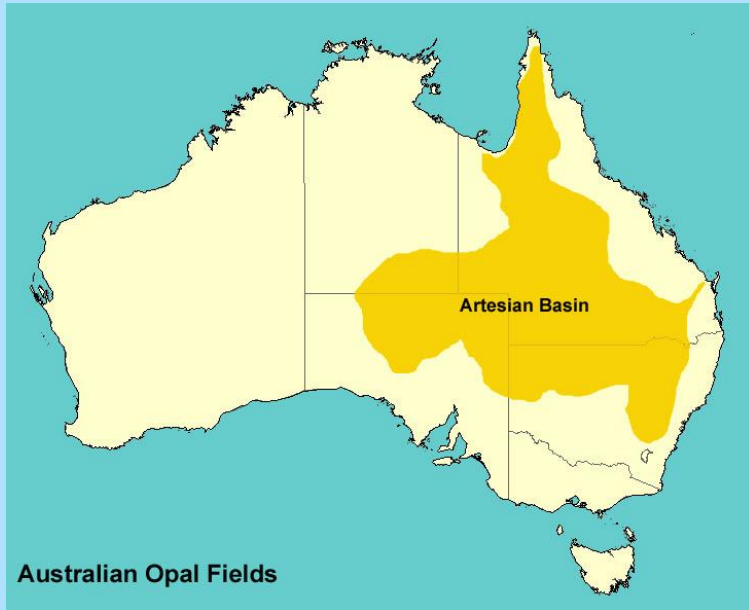
*А* — пределы распространения артезианских вод: *а* — область питания (и частично стока), *б* — область напора, *в* — область разгрузки;

*Б* — пределы распространения грунтовых вод:  $H_1$  — напор положительный,  $H_2$  — напор отрицательный,  $M$  — мощность артезианского пласта; 1 — водоносный пласт, 2 — водоупорные породы, 3 — пьезометрический уровень. Стрелками в пласте показано направление движения артезианских вод

Восходящие  
источники  
артезианских вод



# Артезианские воды и бассейны



<http://jams.o12.pl/asyouwish/myfly/great-artesian-basin>

## По температурам:

- холодные – до  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- теплые –  $20 - 42^{\circ}\text{C}$ ;
- горячие (или термальные)  $> 42^{\circ}\text{C}$  (Пятигорск  $> 27^{\circ}\text{C}$ ).

## По степени минерализации различают (по В.И. Вернадскому):

- ✓ пресные (сухой остаток до  $1\text{ г/л}$ ),
- ✓ солоноватые ( $1 - 10\text{ г/л}$ ),
- ✓ соленые ( $10 - 50\text{ г/л}$ ) и
- ✓ рассолы ( $50 - 550\text{ г/л}$ ).

**Жесткость подземных вод** определяется наличием солей  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_2$ ,  $\text{NaCl}$  и т.д.;

# ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Движение в зоне аэрации - *просачивание (инфильтрация)*:

Движение в зоне насыщения - *фильтрация (ламинарный режим)*

*Закона фильтрации Дарси:*

$$V_{\phi} = K_{\phi} I$$

где  $V_{\phi}$  — скорость фильтрации;

**$K_{\phi}$  — коэффициент фильтрации**, характеризует водопроницаемость грунтов.

**$I$  - гидравлический уклон**, равный уклону поверхности уровня грунтовых безнапорных вод.

**Скорость фильтрации ( $V_{\phi}$ , м/сут, мм/мин или см/с)** — это отношение расхода фильтрационного потока  $Q_{\phi}$  к площади поперечного сечения в пористой среде  $\omega_{п}$ :

$$V_{\phi} = Q_{\phi} / \omega_{п}$$

# Геологическая деятельность подземных вод

С деятельностью грунтовых вод связаны специфические, часто опасные физико-географические явления и процессы:

Подтопление и заболачивание

- Оползни
- Карст
- Суффозия

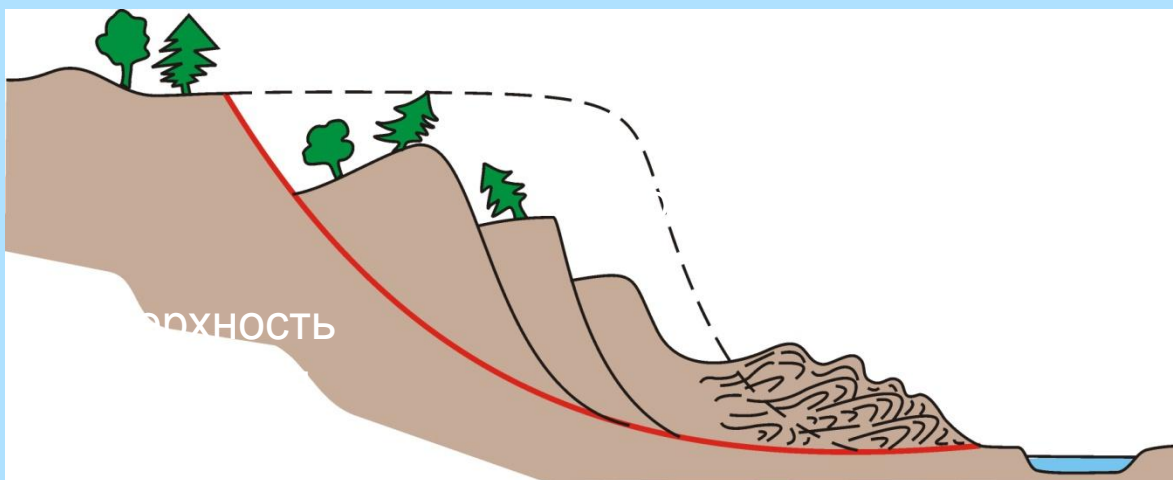
**Разрушительная деятельность подземных вод** проявляется главным образом в химическом разрушении и выщелачивании горных пород, что связано с содержанием в них кислорода, углекислоты, различных органических и неорганических веществ.

# Оползневые склоны

**Оползень** – отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести

Для возникновения оползня необходимо:

1. Наличие достаточно крутого склона (не менее  $25^\circ$ )
2. Наличие водоупора
3. Наличие водоносного слоя







Характерные оползневые блоки и блоки отседания в четвертичных отложениях. Дагестан (фото М.Ю. Никитина)

# Подтопление

– инженерно-геологический процесс, при котором в результате нарушения водного режима под влиянием комплекса техногенных и природных факторов происходит направленное повышение влажности грунтов или уровня подземных вод, нарушающих условия строительства или эксплуатации инженерного сооружения.

С 2000 по 2010 гг. в России подтоплено

- около 900 городов
- более 500 поселков городского типа
- тысячи мелких населенных пунктов

 256 элеваторов

Площадь подтопленных территорий в России:

- застроенных территорий более 8000 км<sup>2</sup>
- сельскохозяйственных угодий – более 34 тыс. км<sup>2</sup>

10 января 2007 г. Санкт-Петербург



# Затопление



Затопление улиц г.Геленжика  
после обильных ливней в 2002 г.



Разрушение асфальта и грунтов  
на ул.Фадеева после спада  
затопления, г.Геленжик, 2002 г.

# Киев. Площадь Славы. 2009 г.



**Подтопленные территории** – участки с неглубоким уровнем залегания 1-го от поверхности горизонта подземных вод ( $< 3$  м)

**Выделяют территории:**

- Временно и постоянно подтопляемые
- Естественно и техногенно подтопляемые



Затопление и подтопление территории в Германии во время наводнения, 1997 г.

# Масштабы подтопления

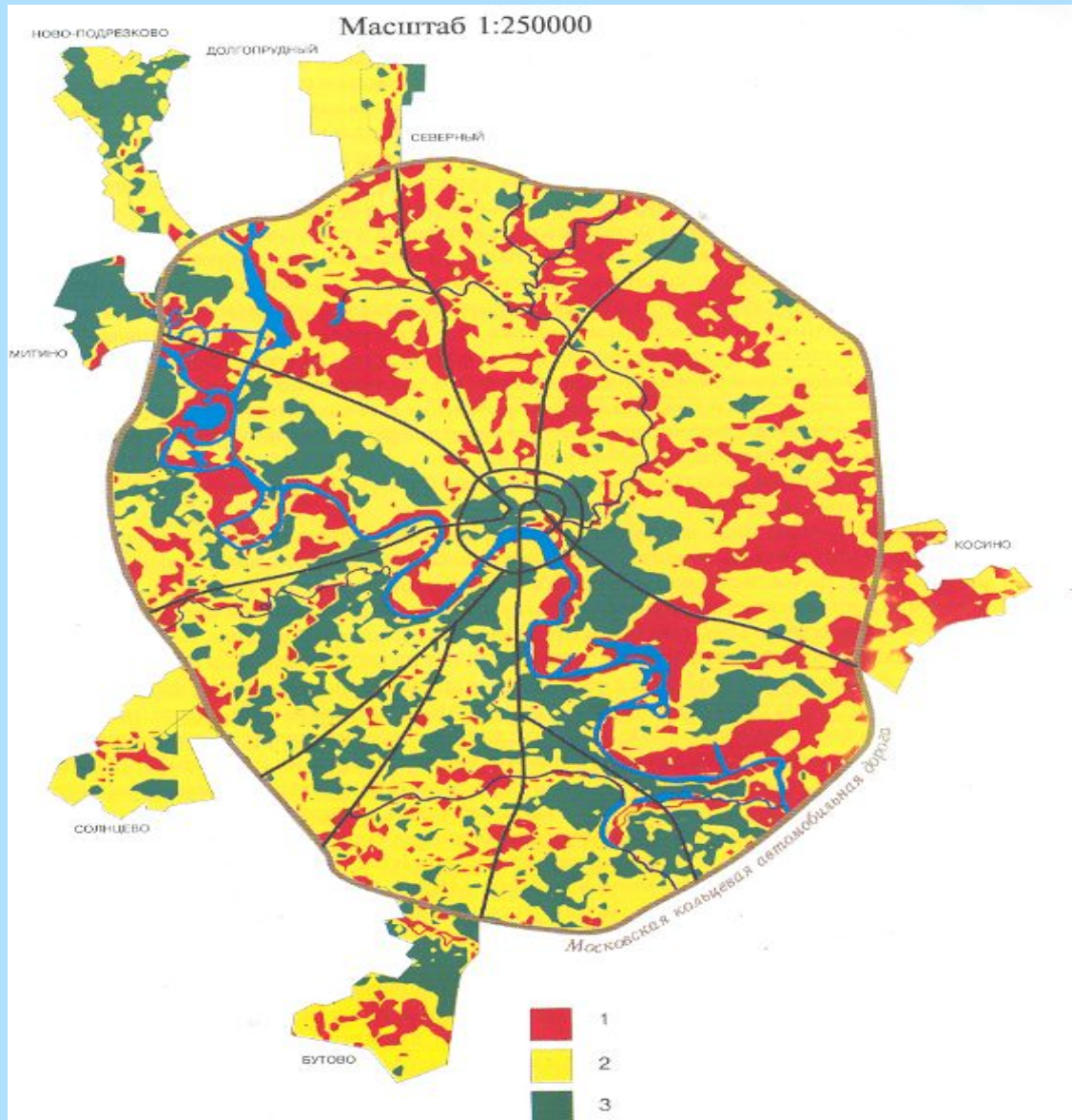


Рис. 7.3. Карта подтопления г.Москвы грунтовыми водами: 1 – территории, подтопленные постоянно; 2 – территории, потенциально подтопляемые; 3 – не подтопляемые территории

Наибольшее подтопление территорий происходит в городах

Карта подтопления территории г.Москвы

# Масштабы подтопления в Москве

## Распределение подтопленных территорий по округам г.Москвы

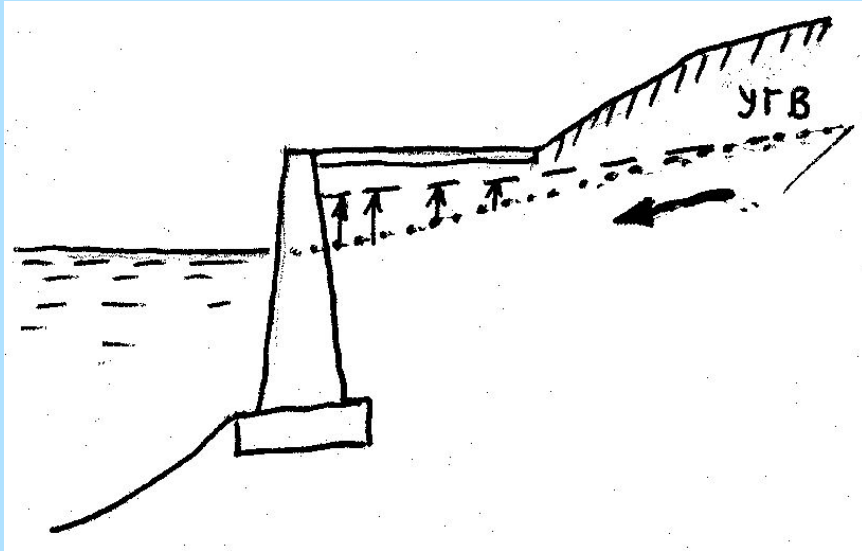
ОКРУГА	Площади подтопленных территорий в %	
	на 1993 г.	на 2010 г.
Восточный	80	89
Западный	37	50
Северо-Восточный	47	58
Северо-Западный	25	41
Северный	36	42
Центральный	22	22
Юго-Восточный	54	54
Юго-Западный	17	32
Южный	23	43



# Техногенные факторы подтопления

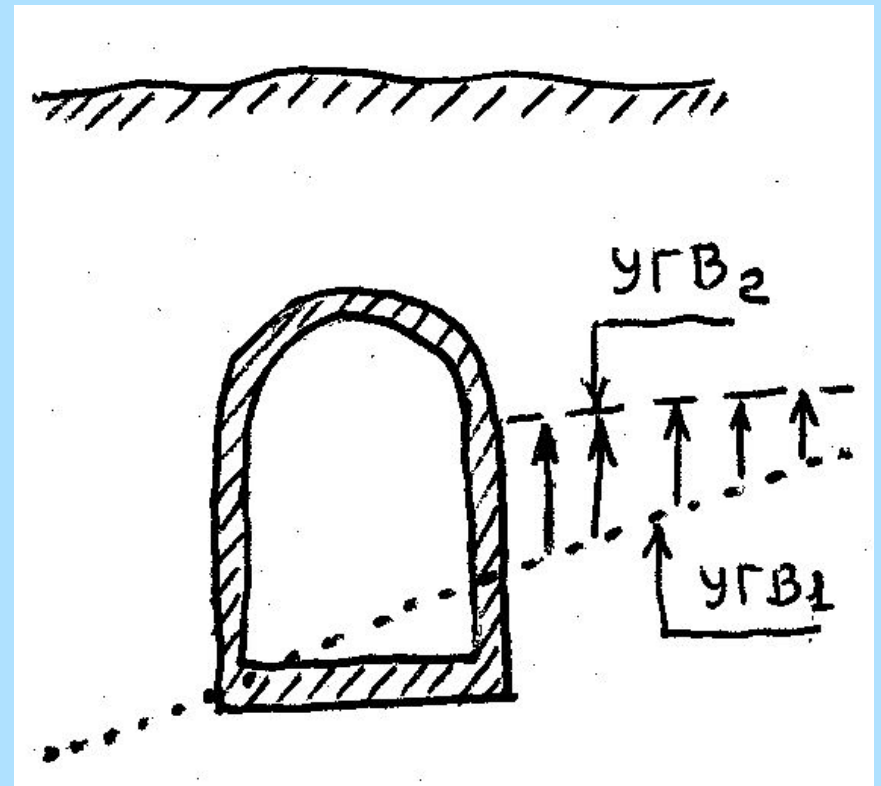
1. Подпор от барражирующего действия заглубленных частей зданий, тоннелей и др.
2. Подпор от участков набережных
3. Подпор от засыпанных оврагов, балок
4. Подпор от плотин
5. Утечки из коммуникаций
6. Отсутствие системы дождевого стока
7. Неправильное планирование и производство мелиоративных мероприятий.

# Примеры техногенного подтопления



Подпор подземных вод от  
барражирующего действия  
тоннеля

- Подпор подземных вод от  
набережной



# Меры борьбы с подтоплением



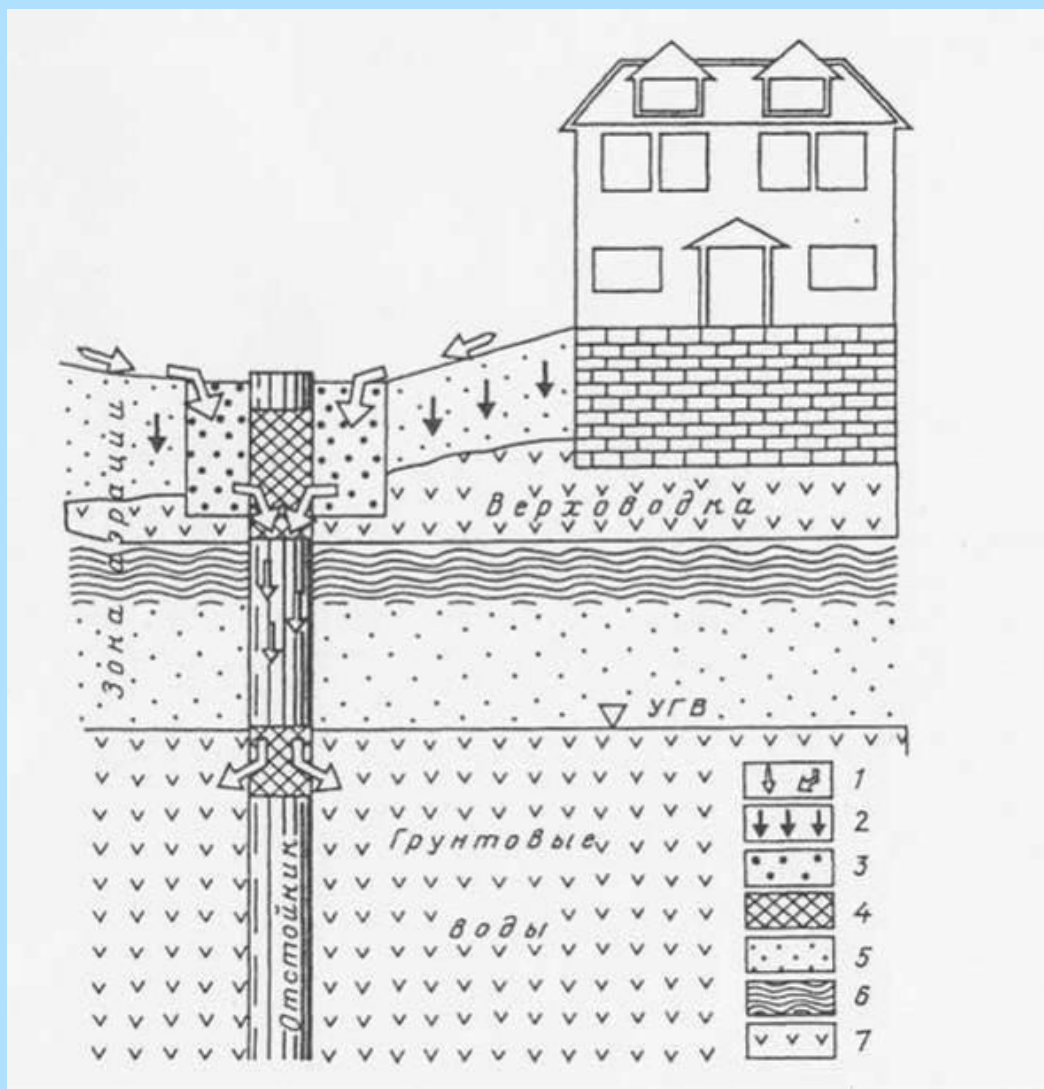
Наводнение во Франции, 2001 г.

1. Дренаж территории
2. Создание экранов, завес у зданий
3. Гидроизоляция фундаментов
4. Борьба с утечками
5. Организация поверхностного стока
6. Создание комплексной схемы общего водопонижения

# Борьба с подтоплением

Схема работы водопоглощающей скважины: 1 – поверхностный сток, 2 – инфильтрационный поток, 3 – фильтр гравийный, 4 – фильтр сетчатый, 5 – пески, супеси, 6 – суглинки, 7 – водонасыщенные породы.

2  
5 –



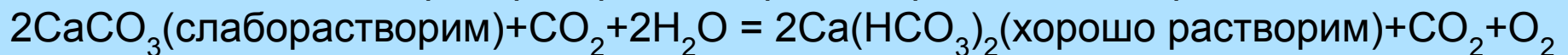
# КАРСТОВЫЕ и СУФФОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

## Карст

**Карст** - геологический процесс, сочетающий в себе растворение, выветривание и эрозию пород, и сопровождающийся формированием особого режима подземных вод, деформациями земной поверхности и образованием особого карстового рельефа.

- 1) Процесс химического растворения пород и процесс выщелачивания.
- 2) Специфические формы рельефа поверхности, подземные формы растворения. Сформировавшиеся в результате карстового процесса;
- 3) Термин **карст** произошел от названия известкового плато в Словенских Альпах.

Карстующиеся породы – известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, каменная соль. Более всего распространен карст в карбонатных породах:



# Карбонатный карст

Вода, просачивающаяся с поверхности, содержит много растворенного углекислого газа, а потому легко растворяет известняк:



Попадая на стену или потолок пещеры, вода выделяет часть растворенной углекислоты, и бикарбонат вновь переходит в карбонат кальция:



Таким образом на потолке и полу пещеры образуются разнообразные натечные формы.

# Типы и формы карста

**Открытый карст** – карстовые формы видны на поверхности; чаще развит в горных районах.

**Закрытый карст** – карстовые образования на поверхности не заметны, так как они перекрыты толщей каких-то других отложений; характерно для равнинных платформенных районов.

На поверхности карстовые формы рельефа представлены **каррами, желобами, рвами, воронками различных типов, понорами, западинами, котловинами, карстовыми ущельями, слепыми долинами.**

Подземные формы карста представлены **карстовыми шахтами, колодцами и пещерами**

# Поверхностные формы карста



**Карры** – углубления в виде ямок, борозд, канавок, образованные в основном выщелачиванием известняков поверхностными атмосферными водами.



# Карровые поля



**Карры иногда покрывают обширные площади, превращая их в неудобья и трудно проходимую местность (карровые поля).**

**Желоба и рвы** – более протяженные и глубокие, чем карры, участки карстового выщелачивания поверхности известняков, наследуют первичные трещины.



**Поноры** – это узкие глубокие отверстия, наклонные или вертикальные, поглощающие поверхностную воду и отводящие её вглубь карстового массива. Поноры часто возникают на узлах пересечения трещин.



Поноры, образованные в местах пересечения карстовых желобов. Ручей (слева), исчезающий в поноре. Большой Канадский север. Фото D. Ford.

**Карстовые воронки** – наиболее распространенные поверхностные формы карста. Воронки бывают от пологих и мелких до крутосклонных. Диаметр воронок редко превышает 50 м, а глубина - 15-20 м.

По типу образования обычно выделяются воронки поверхностного выщелачивания и провальные воронки.



Провальная карстовая воронка 120 м в диаметре и 45 м.глубиной, образовавшаяся 2 декабря 1972 г. Алабама, США.



Две соединяющиеся карстовые воронки поверхностного выщелачивания. Крым, плато Чатырдаг. Фото Ульяновой Д.В. 1999.

## Вид карстовой воронки снизу



## **Карстовые воронки:**

**1) Воронки поверхностного  
выщелачивания;**



## 2) Провальные воронки:



## Озеро, образовавшееся в карстовой воронке







Плитвицкие озера карстового происхождения, Хорватия

## Великая голубая дыра

Расположена в центре Лайтхаус-Рифа - атолла в составе Белизского барьерного рифа.

Дыра представляет собой круглую карстовую воронку диаметром 305 м, уходящую на глубину 120 м.

Данное геологическое образование первоначально являлось системой известняковых пещер, сформировавшихся в ходе последнего ледникового периода. Уровень моря тогда был значительно ниже, но когда океан поднялся и свод затопленной пещеры обвалился, образовалась карстовая воронка — довольно распространённая форма рельефа вдоль побережья Белиза.



**Блюдца и западины** – это мелкие, небольшие карстовые воронки;

**Поля** – понижения неправильной формы, образуются при слиянии нескольких воронок. Одно из наиболее крупных полей — Ливаньско поле в Боснии (Югославия) —занимает площадь в 379 км<sup>2</sup>.

**Карстовые колодцы, шахты, пропасти** – это каналы, уходящие почти вертикально вглубь карстовых массивов на десятки и сотни метров при диаметре в первые метры.

**Слепые долины** – небольшие реки, протекающие в закарстованных районах, имеющие исток и внезапно заканчивающиеся у воронки или поноры, куда уходит вся вода. Часто бывают полуслепые долины, когда через несколько километров поток выходит на поверхность.



**Колодцы и шахты** – вертикальные или наклонные карстовые формы, уходящие в глубину на десятки и сотни метров. Они образуются при развитии понор. Известны шахты глубиной до 1100 м.

Карстовая пропасть в толще известняков, Предальпы.



## **Карстовая пропасть**

Нагорный Карабах.

Малый Кавказ

(фото Н.Л. Фроловой)



**Исчезающие (слепые) долины** – в карстовых областях часто наблюдаются исчезающие ручьи и реки.

В Башкирии река Янан – подземный поток протяженностью 40 км под землей, длина поверхностной части реки составляет 17 км.



**Полье** – обширная область развития карстовых процессов, нижнее плато Чатырдаг. Крым. Вид с вертолета (фото М.Ю. Никитина)

# Подземные формы карста



Входной колодец в пещеру Да Ченг, Китай

Воды образуют горизонтальные ходы и пещеры (самая крупная – Мамонтовая, в США, штат Кентукки, до 100 км., в Крыму – Чатыр-Даг, в России – Кунгурская пещера).

**Пещеры** – главные подземные формы карстового рельефа

Подземное карстовое озеро и грот.  
Капри, Италия





**Карстовые пещеры** образуются двумя путями:

- 1) растворения, выщелачивания и размыва;
- 2) обрушения, раскрытия и последующего размыва тектонических трещин.

Пещеры сильно различаются по протяженности.

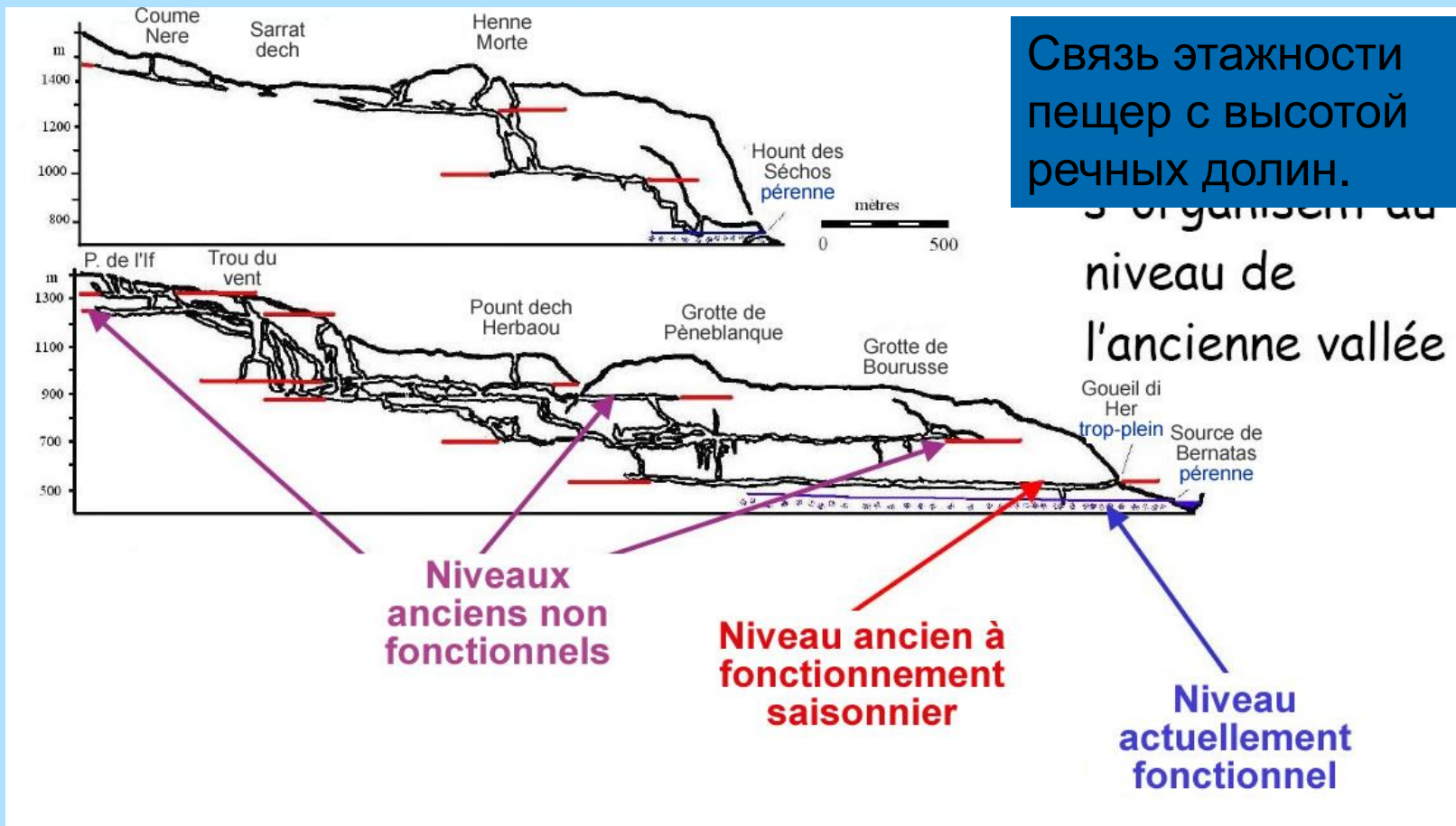
Самой длинной считается Флинт - Мамонтова в США (563 км), вторая по протяженности – гипсовая Оптимистическая на Украине (192 км). Однако, украинские спелеологи утверждают, что обнаружили в Тернопольской области самую длинную пещеру в мире («Музейная»), однако, точной ее длины не сообщают (ИТАР ТАСС).

# Карстовая пещера



# Пещеры используют для туризма и в лечебных целях





Местами в сильно закарстованных районах наблюдается несколько **этажей пещер**. Высотное расположение тех или иных этажей связано с надпойменными террасами рек, которые отражают высотные положения базиса эрозии, и, соответственно, уровня грунтовых вод. При длительном эрозионном цикле реки успевают сформировать террасу, а карстовые подземные воды, движущиеся к реке - систему пещер. Понижение уровня базиса эрозии вызывает понижение уровня грунтовых вод, старая пещера становится осушенной, а новая формируется ниже.

# Аккумулятивная деятельность подземных вод

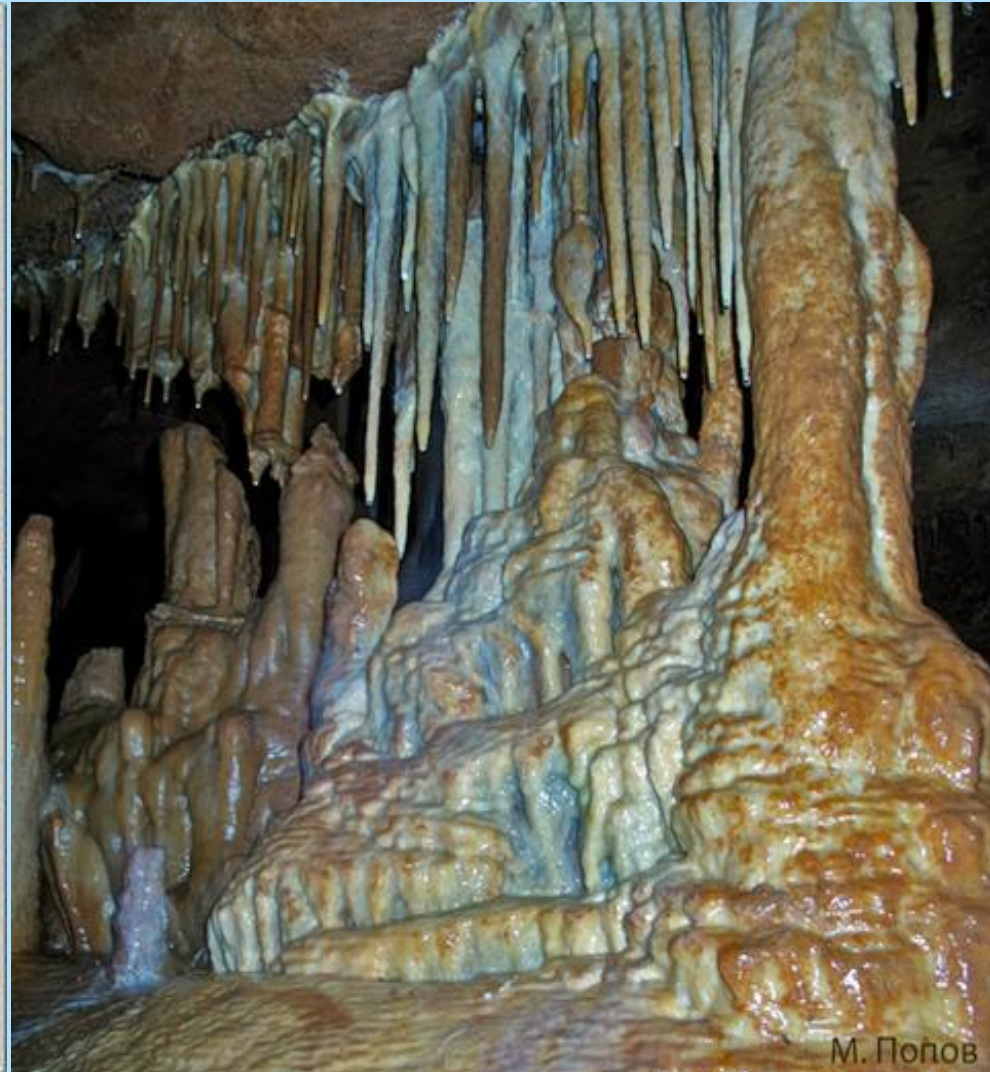
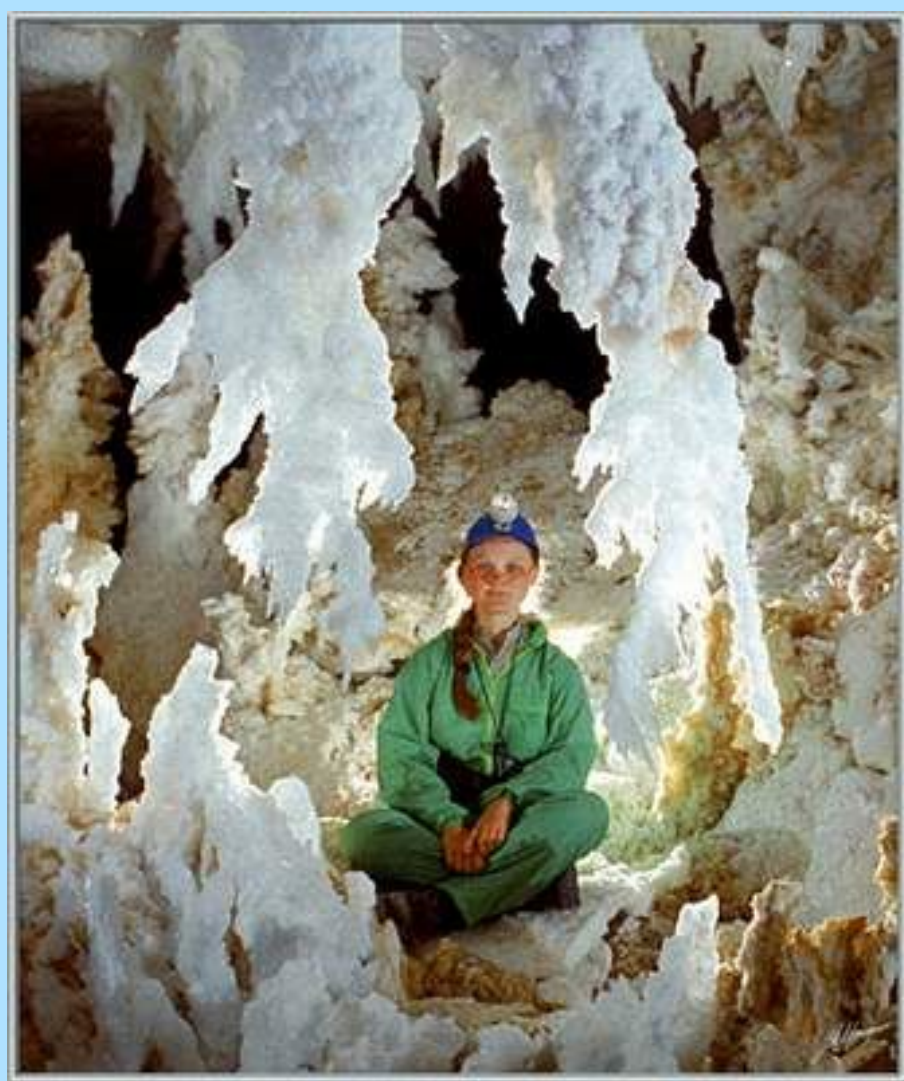
Изменение физико-химических условий приводит к выпадению из насыщенных минеральными солями подземных вод приводит к выпадению их из раствора минералов, например, арагонита, галита, гипса, и образованию на стенах, потолке и днище пещер разнообразных натечных форм, таких как: корки, завесы, занавесы, сталактиты сталагмиты и сталагматы, гуры.

Из вод, насыщенных кремниевой кислотой, образуются кремнистые туфы. В местах выхода на земную поверхность насыщенных углекислотой подземных вод откладывается известняк и известковый туф – травертин.

При минусовых температурах натечные образования слагаются льдом.

Оставшаяся после растворения известняка глинистая масса, часто имеющая красноватый цвет из-за оксидов и гидроксидов Fe, формирует терра-россу.

Во всех пещерах широко распространены **натечные образования**.



Гипсовые "деревья". Фото Мальцева В.

М. Попов

В зависимости от положения в пещере и формы, натечные образования подразделяются на:

- ❖ **Сталактиты** - выросшие на своде пещеры из просачивающейся воды. Иногда можно наблюдать ряды сталактитов, маркирующие трещину в потолке.
- ❖ **Сталагмиты** - выросшие на полу из капающей сверху воды. Так как упавшая капля воды растекается по сталактиту, то они обычно более короткие и широкие по сравнению со сталактитами. Обычно растут непосредственно под сталактитами.
- ❖ **Сталагматы** - вертикальные колонны. Образуются из доросших до полу сталактитов или из соединившихся и сросшихся сталактита и сталагмита.
- ❖ **Гуры** - наплывы на полу пещеры, похожие на оплывший стеарин.
- ❖ **Завесы** - образуются при равномерном просачивании воды через трещину в потолке, имеют примерно постоянную толщину.

**Занавесообразные** ряды сталактитов и сталагмит, вырастающий снизу из гура.  
Фото В.Мальцева.



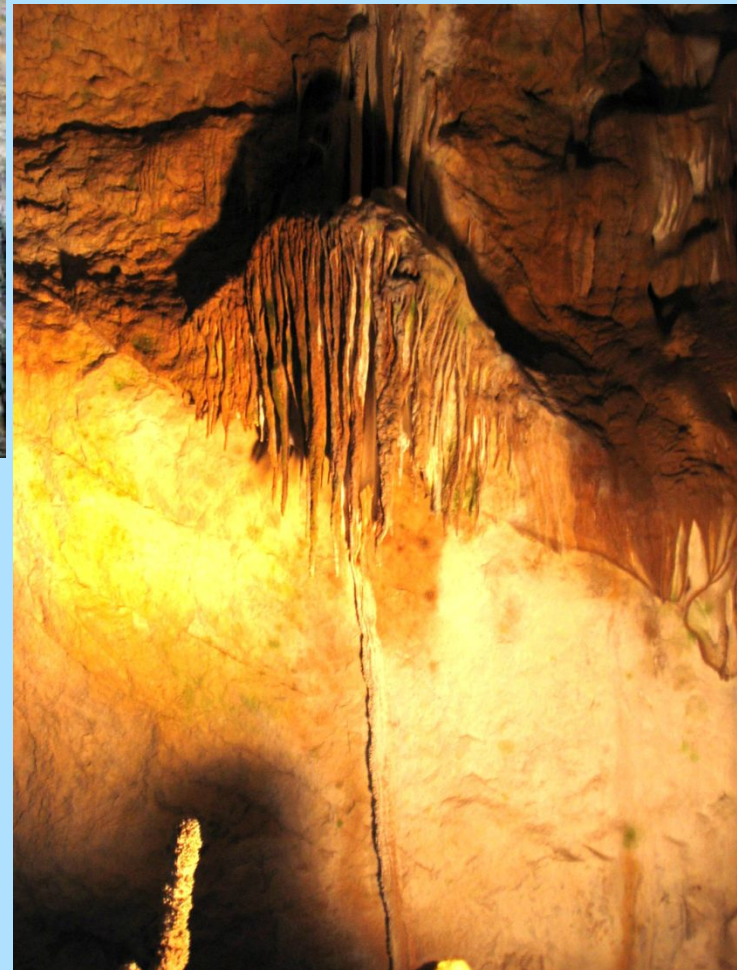
*Photo by Vladimir Maltsev*



1

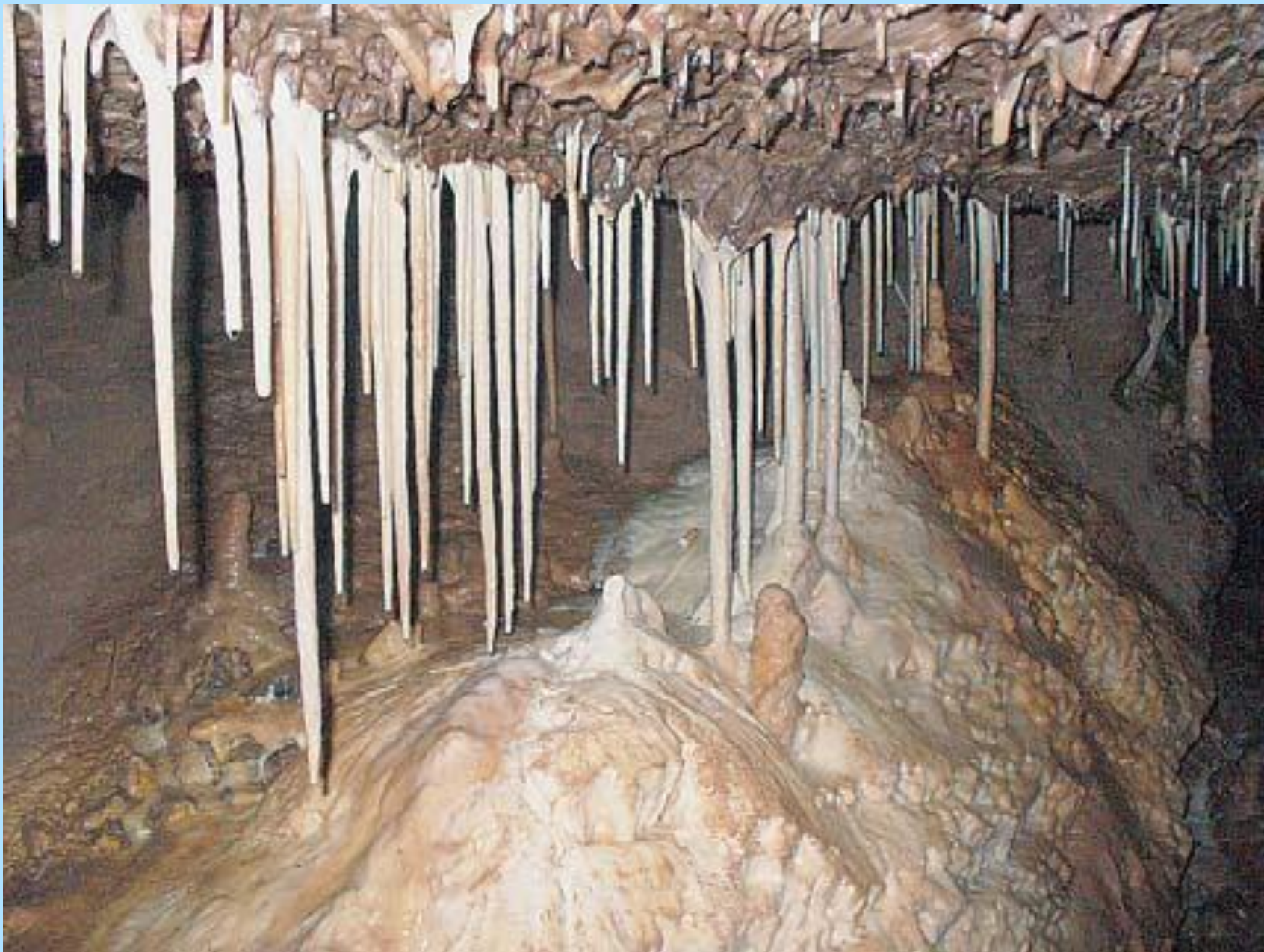
**Сталактиты (1) и завесы (2)  
в пещере Мраморной. Крым**

2

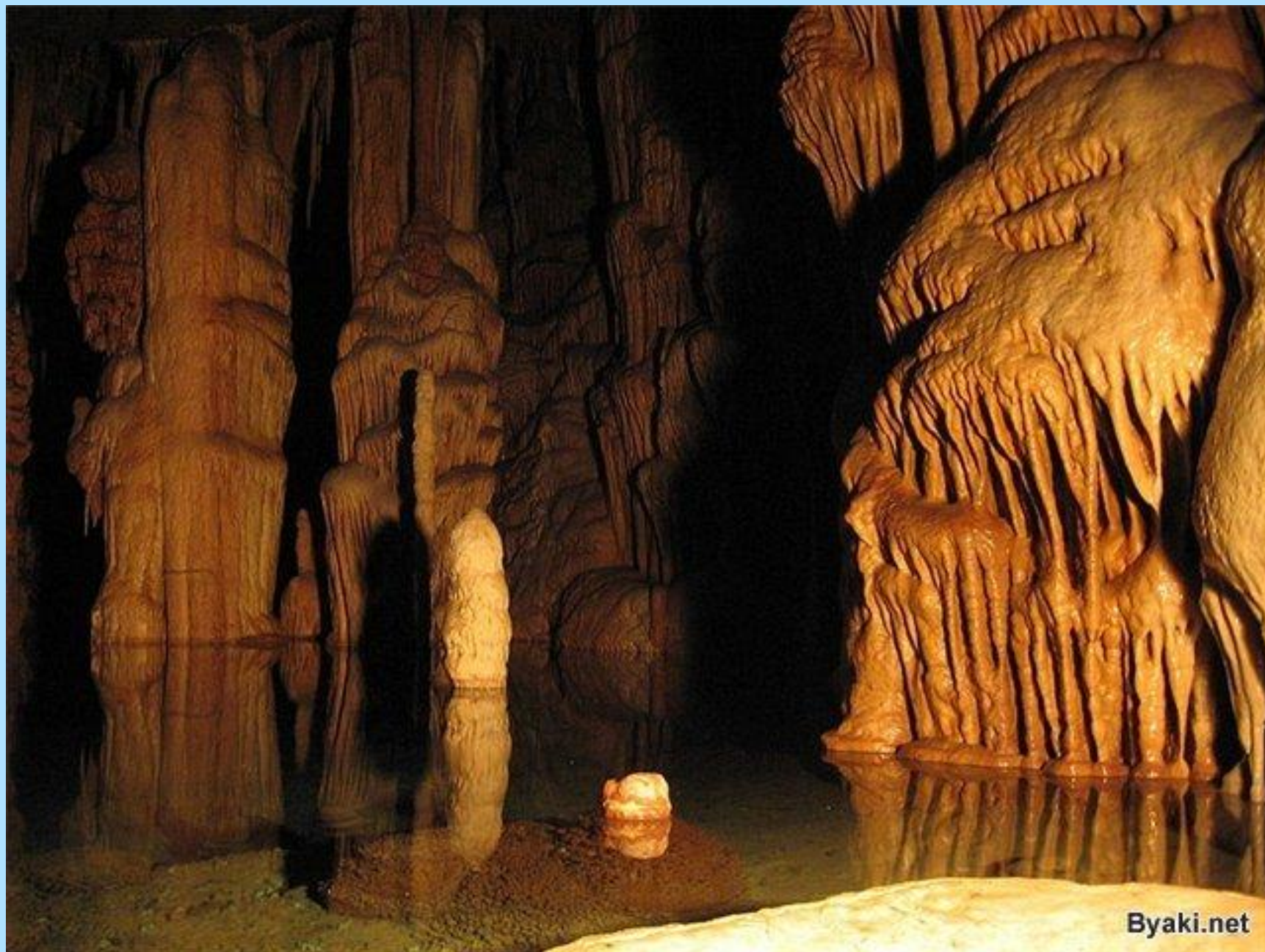




## Сталактиты, переходящие местами в сталагнаты:



# Подземное озеро. Занавесы. Терра-росса.



**Травертин** – это грубопористая известковая порода, отлагающаяся в местах разгрузки (выхода на поверхность) источников карстовых вод.



Травертин с отпечатком листа.  
Коллекция Геологической школы МГУ.  
Фото Дамбаева В.А., 2005.

**Терра rossa** (лат. terra rossa - красная земля) – красноватые глинистые отложения карстовых форм, являющиеся нерастворимой частью карбонатных пород. Обогащены окислами, в основном Al и Fe.



Высыпки терра-росса в дорожной выемке. Израиль. Фото D.Frimerman.

# Суффозия

**Суффозия** – процесс разрушения горных пород подземными водами путем механического выноса твердых частичек породы, (от лат. *suffossio* — подкапывание, подрывание), внешне похожий на карст, но принципиально иной, т. к при суффозии идет выноса материала в нерастворенном состоянии.

Наиболее широкое развитие суффозия получает в области распространения лёссов и суглинков, под склонами долин рек. Суффозия часто проявляется на выходах источников, особенно восходящих источников напорных вод.

В карбонатных и гипсоносных песчано-глинистых отложениях и мергелях карст и суффозия могут проявляться одновременно. Это явление носит название **глинистый карст**, или **глинистый псевдокарст**.

**Суффозия** приводит к проседанию вышележащей толщи с образованием отрицательных форм рельефа: западин (суффозионных воронок, блюдец, впадин) диаметром до 10 и даже 100 метров, а также пещер.

**Суффозионно-карстовый процесс** - процесс вмыывания материала в трещины и полости, который как бы засасывается вниз в разжиженном виде, и на поверхности земли внезапно образуются провалы или медленно развиваются карстово-суффозионные воронки (воронки просасывания), что весьма распространено на Русской плите.

# Суффозионный провал, Бирский р-он Башкортостана





**Суффозия на юге**

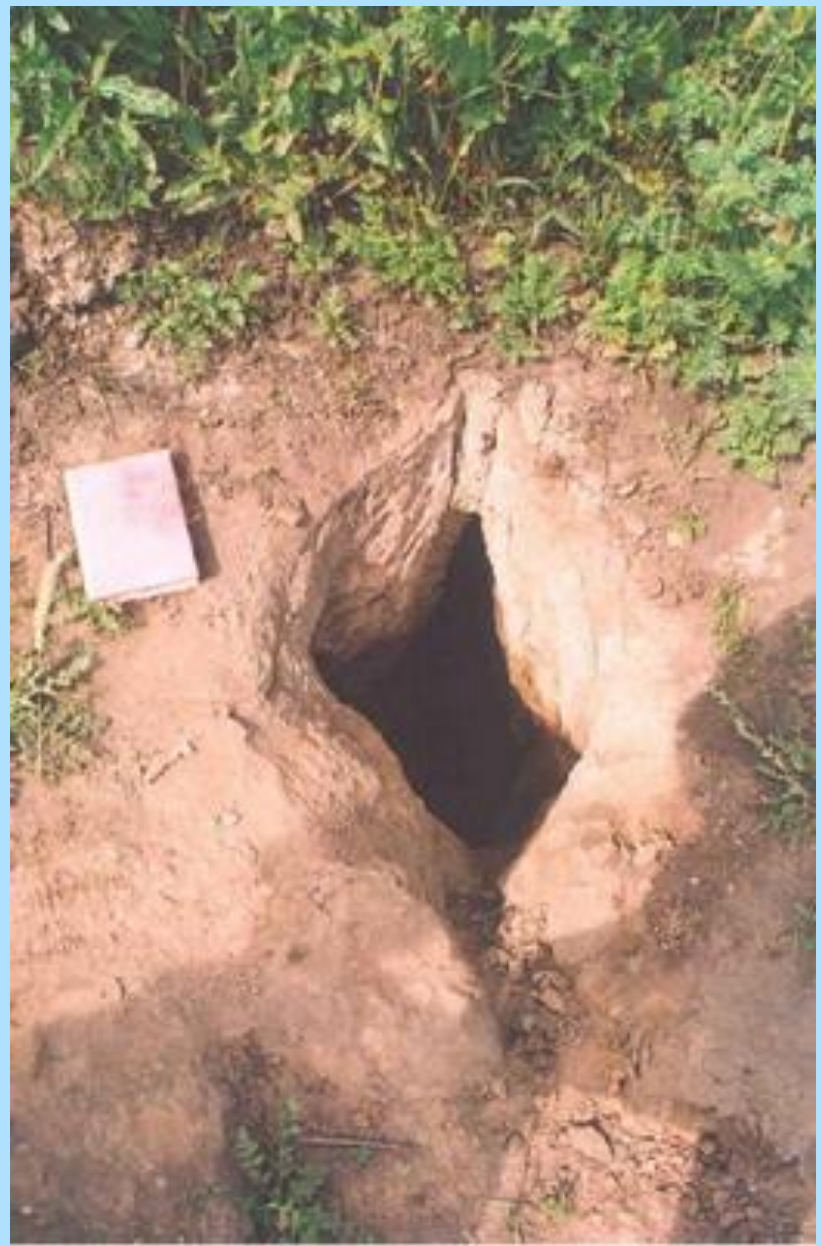
**Красноярского края**



**Суффозионные  
провалы,  
Новоселовский р-н,  
дер. Курганы**



Просадочные воронки на обочине выше по склону над провалами



Вертикальный суффозионный колодец, ниже по склону от провалов

# Опасные карстовые, суффозионные и карстово-суффозионные явления





# Опасность и ущерб

Связаны с **карстово-суффозионными деформациями** толщи горных пород, образующимися в результате действия гравитационных и гидродинамических сил, приводящим к развитию карстовых и суффозионных форм рельефа

(полостей, трещиноватых и ослабленных зон и т.д.)

- 1) В населенных пунктах – обрушения приводят к жертвам и требуют на восстановление финансовых затрат.
- 2) Суффозия также осложняет строительство и сельское хозяйство; кроме того, вдоль цепи суффозионных просадок может заложиться овраг.
- 3) Под большими городами в карстующихся породах могут оседать промышленно загрязненные грунты, что приводит к загрязнению подземных вод, которые проникают в реки, водоемы и водозаборы.

## Превентивные меры:

- 1) Инженерно-геологическое изучение местности на наличие карста.
- 2) Проведение экологической экспертизы и ОВОС
- 3) Четкое следование указаниям по строительству в соответствии с проведенными исследованиями.



Провальная карстово-суффозионная воронка под жилым зданием

- Недоучет карстовых и карстово-суффозионных процессов в инженерно-строительной деятельности может привести к:**
- ) просадке и провалам жилых зданий над подземными полостями;**
  - ) деформациям железнодорожного или автомобильного полотна;**
  - ) значительной утечке воды из водохранилищ;**
  - ) поступлению карстовых грунтовых вод в подземные выработки;**
  - ) Загрязнению подземных вод.**

**Дзержинск, Тверская обл. 9 февраля 2007г.**







Провал в г. Дзержинске на НПО „Дзержинск Химмаш“ в корпусе 1  
 $d=30\text{ м}$ ,  $h \approx 10\text{ м}$ . 15 июля 1992г.





Провал барака в пос. им. Калинина ( 6.08.59г.Диаметр 25,0 м )



Провал на стройбазе Дзержинской ТЭЦ ( 5.09.61г.Диаметр 26,0м )





Провал у здания ветлечебницы г.Дзержинска (10.09.70г.Диаметр 12,5м)



Провал в селе Чудь  
Навашинского района (30.09.95г.  
диаметр 14,4-16,5 м, гл. 11,5 м)



Деформации здания корпуса 322  
в АО „Капулактан“, 1995 г.

# Березники, Пермская область, провал грунта, 2007 г.





## Урал, Березники, 2007.

Провал земной поверхности над карстовой полостью произошел на промплощадке ОАО «Уралкалий» в конце июля 2007 г.

Первоначально площадь участка провала над техногенной карстовой полостью составила примерно 60 на 40 метров, а глубина — около 15 метров.

По данным на 9 октября, величина провала составила 423 м на 318 м и увеличилась за неделю на восемь метров. Размеры воронки в коренных породах составили 405 на 280 метров .



Причиной провала стало затопление одного из участков старейшего рудника «Уралкалия», произошедшего 19 октября 2006 г.

## Урал, г. Березовский, 2008 г.

Карстово-суффозионный провал у стены здания, построенного в начале 90-х гг. Первоначальная его глубина составила около 6м. В результате сдвижения грунтов отмостка дома осела на 0,22 м, в ней появились трещины до 0,05 м. Причина провала - локальные подземные пустоты не были выявлены на стадии проектирования.



# Карстовый провал в Гватемале



## Карстовый провал в Гватемале

Провал составил 150 метров в глубину и столько же — в длину; в него попали несколько жилых домов. Более тысячи людей были эвакуированы, три человека погибли. По свидетельствам очевидцев, они ещё за месяц до обрушения начали ощущать, как земля трясется у них под ногами, и слышали грохот.







## Карстовый провал в Гватемале



## Нью-Йорк, 2006 г.

Дорога провалилась прямо под колесами внедорожника, едущего по улице. Проблема в ветхих старых проржавевших трубах, которые лопаются, вода вызывает карст, происходят обрушения.



Трещина появившаяся в стене костела г. Пасвалис следствие развития карстово-суффозионных процессов в его основании  
(фото В. Микуленаса)



## Северная Литва



Карстовый провал, возникший 13 июня 2004 г. (диаметр - 7м, глубина – 13,5м) в дер.Дауменай Биржайского района

## Днепропетровская область, Днепродзержинск, 2009 г.

В Заводском районе Днепродзержинска, возле СШ №23, в 500 метрах от моста через Днепр, в результате карстово-суффозионных процессов произошел провал пешеходной дорожки и участка проезжей части улицы.



# Киевско-Печерская лавра



Подъем трактора из провала. 2001 г.



Обвалившаяся гора на Дальних пещерах. 1798 г.



Часовая башня с трещиной. 1926 г.

## Пос. Солотвино, Закарпатье



[antikarst.ru](http://antikarst.ru) → [novostey.com](http://novostey.com)

# Карта карстовой и карстово-суффозионной опасности на территории г. Москвы

Категории карстоопасности:

1 - весьма опасная

2 – опасная

3 – малоопасная

Категории карстово-суффозионной опасности:

1 – весьма опасная

2 – опасная

3 - неопасная

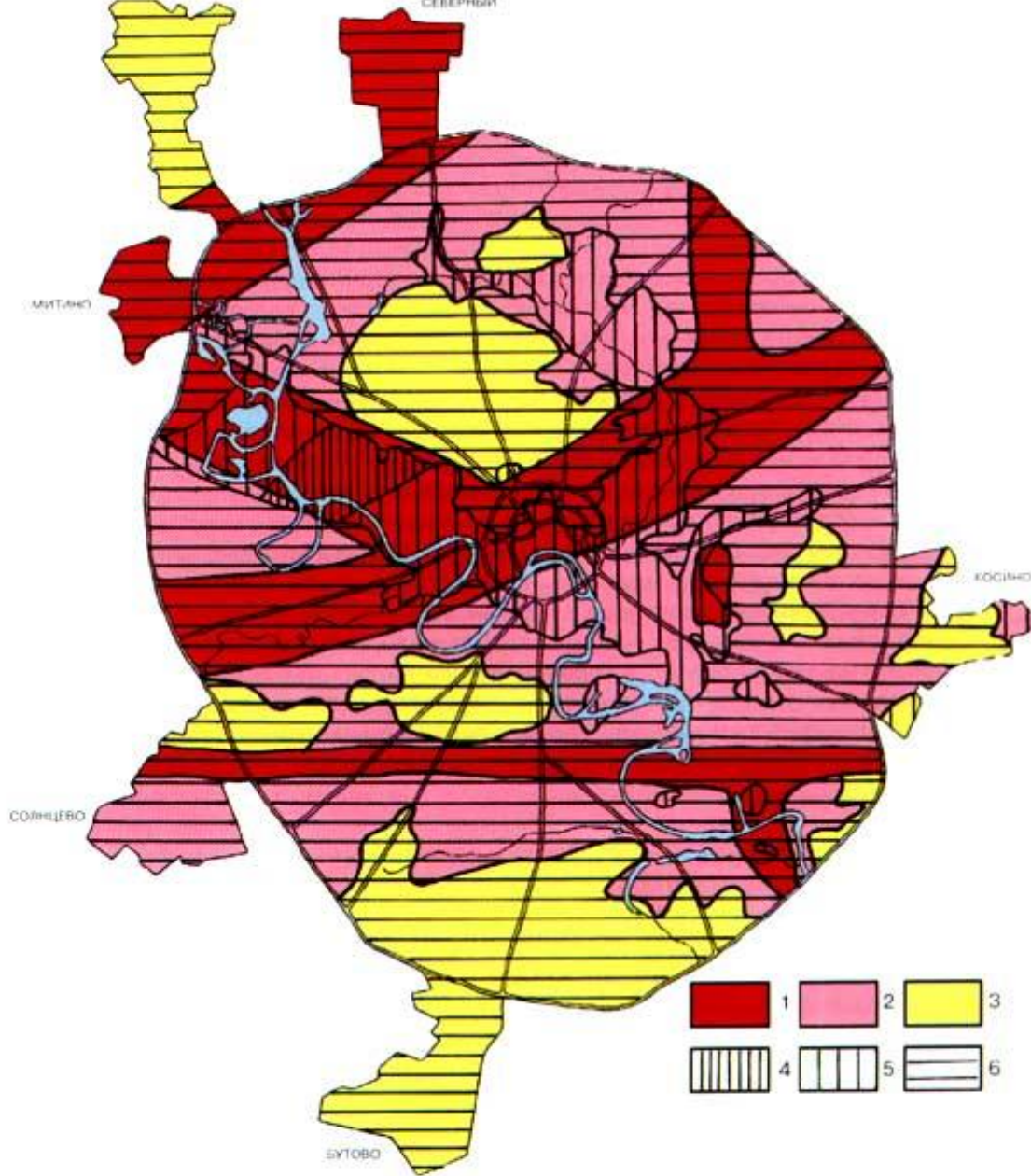


Рис.4.8. Карта карстовой и карстово-суффозионной опасности на территории г.Москвы (авторы: Кутелов В.М., Анисимова Н.Г., Кожевникова И.А., Козлякова И.В., Максимов М.М., Саянов В.С., 1996). Категории карстовой опасности: 1 – весьма опасная, 2 – опасная, 3 – малоопасная. Категории карстово-суффозионной опасности: 4 – весьма опасная, 5 – опасная, 6 – неопасная

**Москва, 2010 г. Пример карстового провала в московском районе Южное Бутово. Под землю ушли 3 легковых автомобиля и грузовик. К счастью, никто не пострадал.**







**Провал 120 кв. метров асфальта на Минской улице, Москва, 2007 г.**  
- Пострадавших нет, но в результате движение перекрыто, город на три дня встал в бесконечных пробках.

## Москва, 2009 г., Выборгское шоссе

Образовался карстовый провал в асфальте проезжей части. Размеры провала постепенно увеличивались. Пострадавших нет.





## Москва, ул. Матросская Тишина. 2010 г.

На проезжей части у дома №15 на месте водосточного колодца образовался провал асфальта площадью 1 кв. метр и глубиной около двух метров. Позднее размеры провала несколько увеличились.

## Москва, 2006 г., район Бибирево.

Во дворе жилого дома номер 74 по Алтуфьевскому шоссе из-за провала грунта под землю ушел легковой автомобиль ВАЗ-2110. Пострадавших нет.



## Москва, 2010 г.

В зоне развития карстовых воронок в стенах здания образуются трещины (слева вниз и направо): а) — диагональные (д. 4 к. 2 по ул. Расплетина); б) — вертикальные (д. 19 по ул. Куусинена); в) — вертикальные (д. 3 по ул. М. Малиновского).





## **Москва, Большая Дмитровка, 1998 г.**

Для защиты фундаментов и подвалов здания на Большой Дмитровке, где ныне заседает Совет Федерации, соорудили водоотливную стенку. Чем нарушили сложившийся на этом участке гидрогеологический режим. Вода, скапливаясь за этой стенкой, подтопила соседний дом, фасад его треснул.



## **Москва, ул. Изюмская, 2005 г.**

В районе дома 36 на Изюмской улице под «КамАЗом», груженным землей, проломился асфальт, и автомобиль рухнул в яму. Провал стал расширяться и поглотил припаркованные у обочины три легковых автомобиля. Образовалась яма диаметром около 20 метров.

## Москва, Ленинградское шоссе, 1998 г.

Площадь провала составила около 300 кв. м, глубина на разных участках — от 1 до 1,5 м. Пострадавших не было, однако в образовавшуюся яму рухнул припаркованный самосвал. Также упала мачта городского освещения, в результате чего на сутки было прервано троллейбусное сообщение.





## **Москва, 2007г. Ул. Аэродромная.**

Суффозионная воронка, диаметром 5 м и глубиной 0,4 м, имеет округлую форму, окружена широкими раскрытыми трещинами и имеет вогнутое дно; находится частично в контуре зданий, что довольно опасно.



## **Москва, 2007г. Ул. Яна Райниса.**

Воронка, образовавшаяся в результате суффозионных процессов, также имеет округлую форму и трещины, диаметр ее около 9 м, а глубина 0,3 м. Область поражения захватывает асфальт и грунт за забором. Воронка находится в непосредственной близости подъезда жилого дома.

## Москва, 2007г., ул. Героев Панфиловцев.

Сильно поражена суффозионными провалами территория прилегающая к д. 13 по ул. Героев Панфиловцев. Вдоль всего дома наблюдаются провалы поверхности асфальта и грунта с многочисленными трещинами.



Повторное проявление процессов в местах их прошлой засыпки и асфальтировки поверхности.







**Москва, жилой дом № 15 на ул. Вишневского, находится в аварийном состоянии.**

В результате суффозии произошли неравномерные осадки фундамента здания, что привело к появлению в несущих конструкциях здания сквозных трещин раскрытием до 6—8 см; произошло частичное обрушение фундаментов.





## **Москва, 2007г. Ул. Расплетина.**

Суффозионная воронка,  
образовавшаяся на месте карстово–  
суффозионной воронки,  
появившейся в 1997 г.



## **Москва, 2007г. Лесопарк, севернее Новохорошевского проезда.**

Карстово-суффозионная воронка,  
засыпанная мусором, в лесопарке  
севернее Новохорошевского проезда.

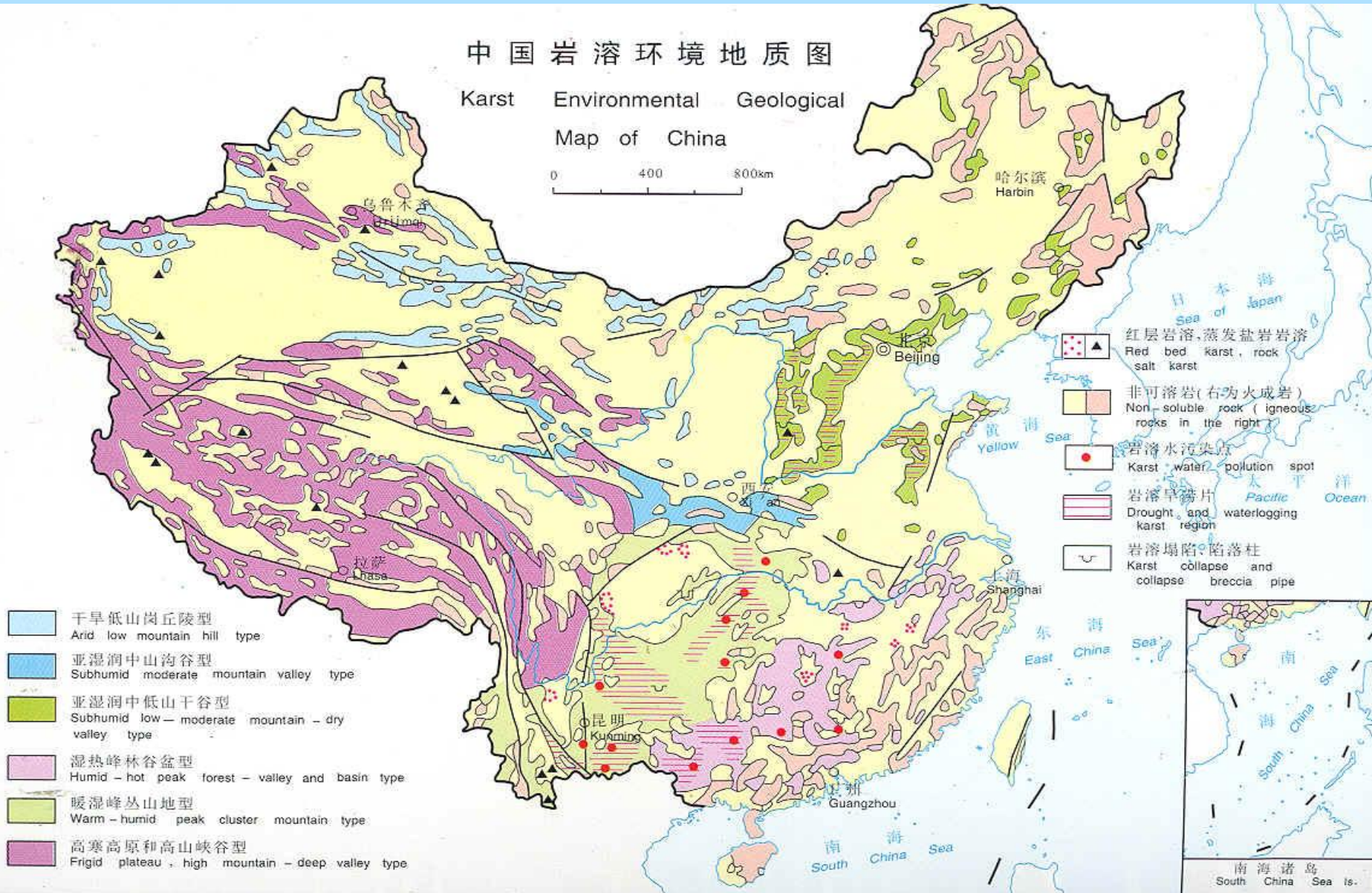
## Что еще может провалиться в Москве:

1. Станции метро "Сокол" и "Аэропорт" - районы с потенциально опасными карстовыми провалами. У большинства новостроек - усиленный фундамент. Он и вызывает проблемы с подземными изношенными водоводами.
2. На Сухаревской площади происходит замена малоэтажных зданий позапрошлого века на многоэтажные комплексы. Их мощные фундаменты перенаправляют естественные потоки грунтовых вод, которые вымывают карстовые пустоты под старыми застройками.
3. На площади Белорусского вокзала идет подземное строительство развязки и торгового центра. Это разрушает грунты в начале Ленинградского проспекта, в частности, под тоннелем-переходом и арками Тверского путепроводного моста.
4. На улице Мясницкая провалы в грунте могут произойти из-за реконструкций ветхого жилого фонда.
5. Во дворах Лубянки причины возможных ЧП - подземные паркинги и реконструкция зданий с заменой их несущих фундаментов.
6. В Соляном проезде проявляет активность подземная река Солянка. Под улицей идут активные карстовые процессы.
7. У гостиницы "Метрополь" опасность возникает из-за отвода воды из-под Манежной площади.
8. На Старом и Новом Арбате карстовые пустоты образовались из-за ухода воды. Причина - массовое подземное и наземное строительство.

# Карст Китая

中国岩溶环境地质图  
Karst Environmental Geological  
Map of China

0 400 800km



- 干旱低山岗丘陵型  
Arid low mountain hill type
- 亚湿润中山沟谷型  
Subhumid moderate mountain valley type
- 亚湿润中低山干谷型  
Subhumid low - moderate mountain - dry valley type
- 湿热峰林谷盆型  
Humid - hot peak forest - valley and basin type
- 暖湿峰丛山地型  
Warm - humid peak cluster mountain type
- 高寒高原和高山峡谷型  
Frigid plateau, high mountain - deep valley type

- 红层岩溶, 蒸发盐岩岩溶  
Red bed karst, rock salt karst
- 非可溶岩(右为火成岩)  
Non-soluble rock (igneous rocks in the right)
- 岩溶水污染点  
Karst water pollution spot
- 岩溶旱涝片  
Drought and waterlogging karst region
- 岩溶塌陷, 陷落柱  
Karst collapse and collapse breccia pipe









奉节百依崖古岩溶塌陷坑



巫山移民迁建区开挖出的岩溶塌陷坑



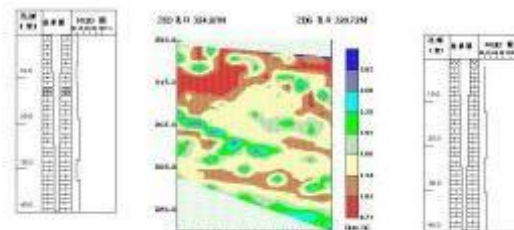
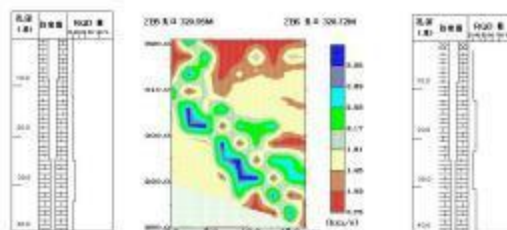
库区巴东组灰岩中发育岩溶泥质条带，并构成软层

巫山移民迁建区开挖出的岩溶溶洞



图30 巫山县周家包 ZB5—ZB6 钻孔 CT 成像图

图31 巫山县周家包 ZB3—ZB6 钻孔 CT 成像图





石林风景区管理局提供 杨新民 摄





vizuren.com

石林风景名胜区管理局提供 杨新民/摄

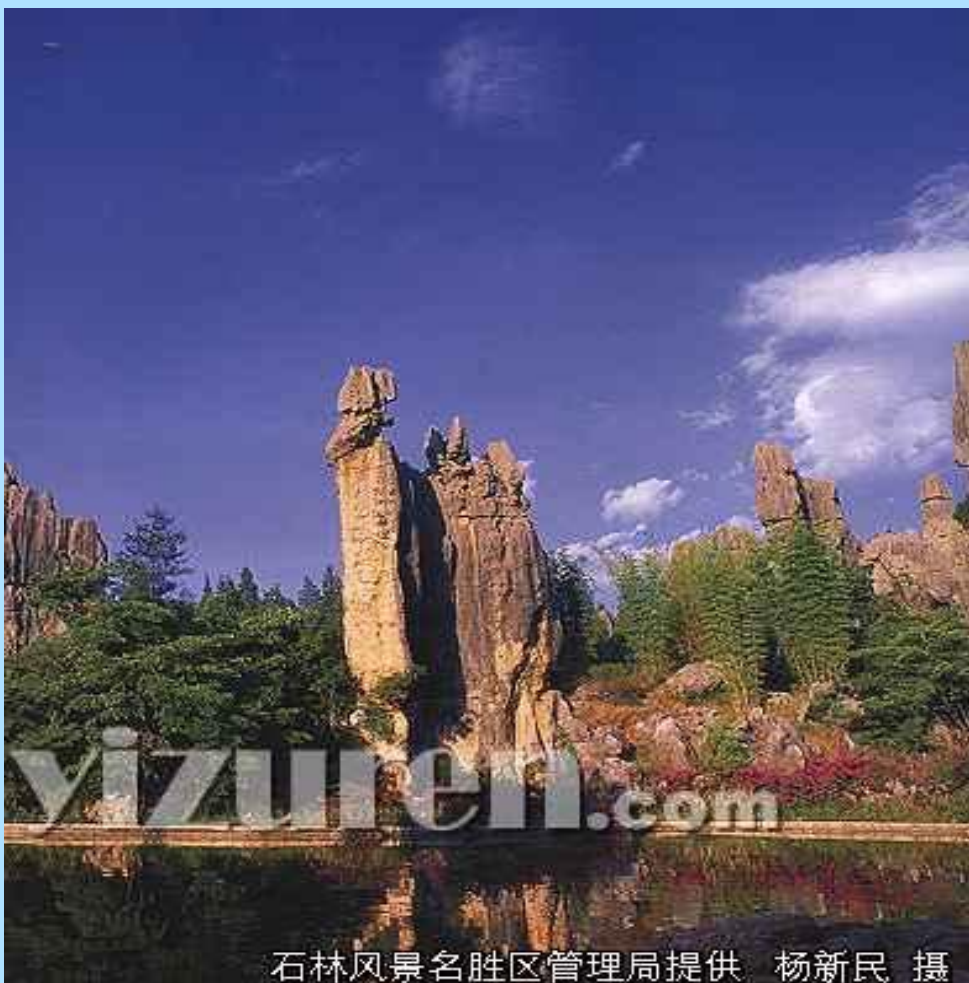
## Карстовые останцы



石林风景区管理局提供 杨新民 摄

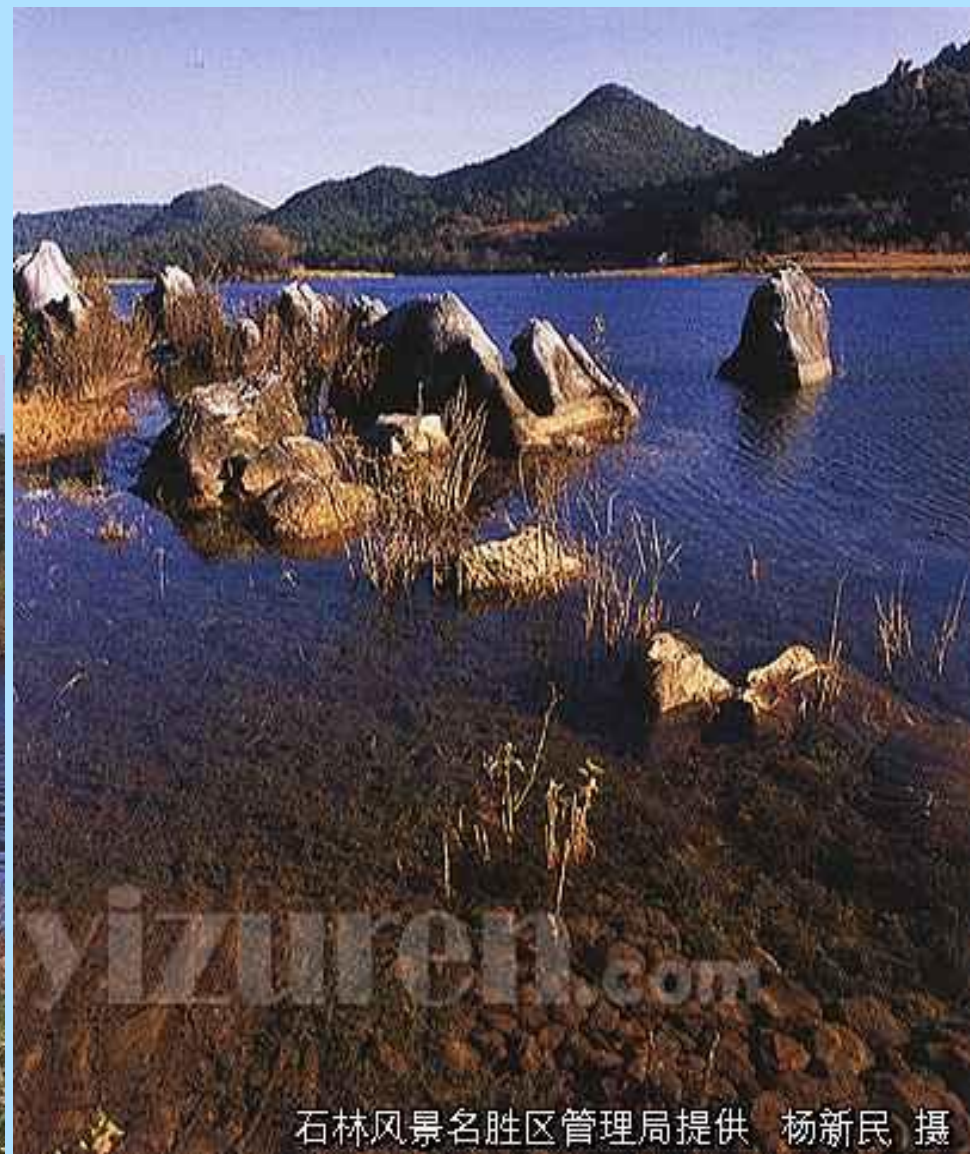


石林风景区管理局提供 杨新民 摄



石林风景区管理局提供 杨新民 摄

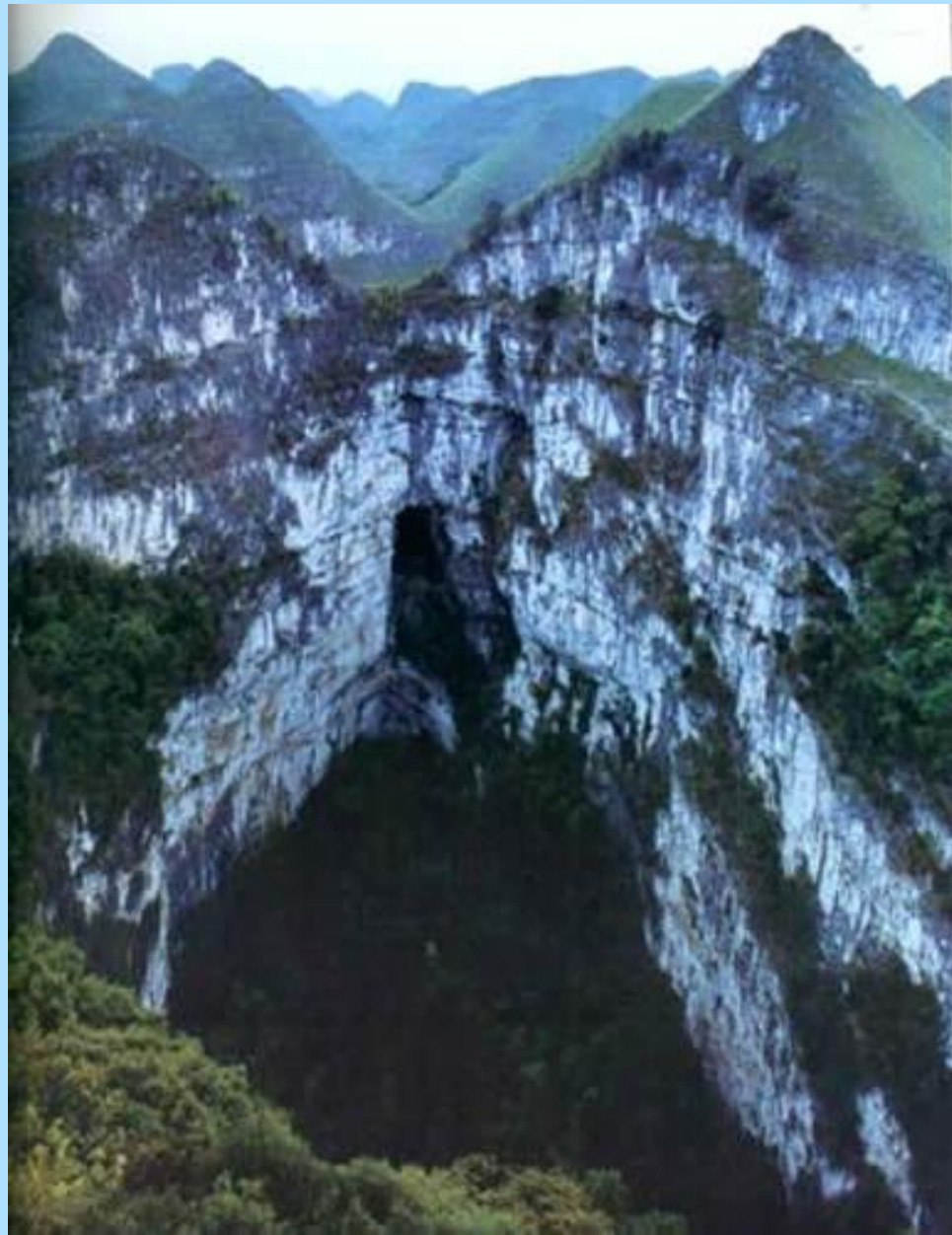
## Карстовые озера

















# Музей карста



# Пещера Фужон



## Пещера желтого дракона



# Пещера снежинки



С  
п  
а  
с  
и  
б  
о  
з  
а



В  
н  
и  
м  
а  
н  
и  
е  
!