

## Лекция 6

# Подземные воды как один из факторов инженерно-геологической обстановки.

1. **Условия залегания, распространения и движения подземных вод.**
2. **Физические свойства и химический состав подземных вод. Агрессивность подземных вод по отношению к бетонам и металлам.**
3. **Основы расчётов водопритоков к горным выработкам.**
4. **Некоторые геологические процессы, обусловленные действием поверхностных и подземных вод.**
5. **Особенности гидрогеологических исследований в составе инженерных изысканий для строительства**

# Подземная вода (ПВ)-

- это свободная вода, заполняющая поры и трещины горных пород и располагается ниже отметки поверхности земли.
- **Классификации ПВ:**
- 1. по положению в разрезе:
- Верховодка, грунтовая вода, межпластовые напорные воды.
- 2. по химическому составу (по сумме солей): пресные, минерализованные, солоноватые, соленые и рассолы.

Подземные воды, заключенные между двумя водоупорными пластами называются межпластовыми

➤ Межпластовые воды



# Классификация ( продолжение)

2. по химическому составу (по сумме солей): пресные, минерализованные, солоноватые, соленые и рассолы.

3. По температуре воды (или температурному режиму):

Меньше нуля – криопэги;

Меньше 10 градусов – холодные;

Больше 70 градусов – горячие;

Больше 100 – парагидротермы.

4. По гидравлическому признаку: напорные и безнапорные. Так же выделяют

- в скальных массивах –

трещиновато-жильные и трещиновато-карстовые;

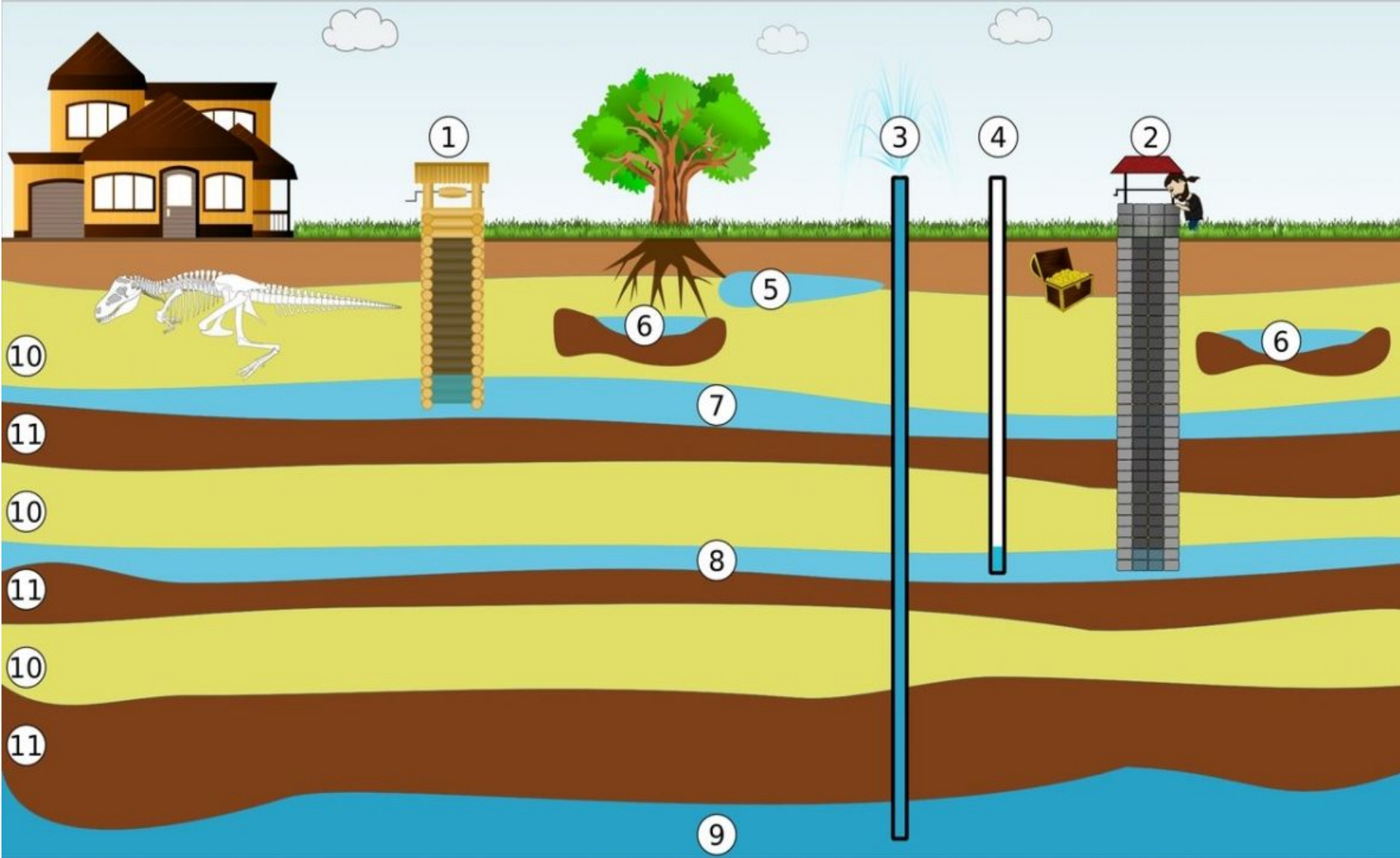
- в зоне вечной мерзлоты – над-, меж-, под- мерзлотные воды











1. Колодец на грунтовый водоносный горизонт.

2. Колодец на первый водоносный горизонт.

3. Артезианская скважина.

4. "Песчанная скважина".

5. Почвенные воды.

6. Верховодка.

7. Грунтовый водоносный горизонт.

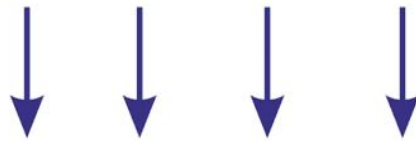
8. Первый водоносный горизонт.

9. Артезианские воды.

10. Водопроницаемые грунты.

11. Водонепроницаемые грунты.

*Атмосферные осадки*



**Суглинок**

**Зона аэрации**

**Верховодка**

**Песок**  
(водоносный слой)

**Грунтовая вода**

**Глина**  
(первый водоупор)

**Песок**  
(водоносный слой)

**Река**

**Межпластовая вода**

**Глина**  
(второй водоупор)

**Зона полного насыщения**

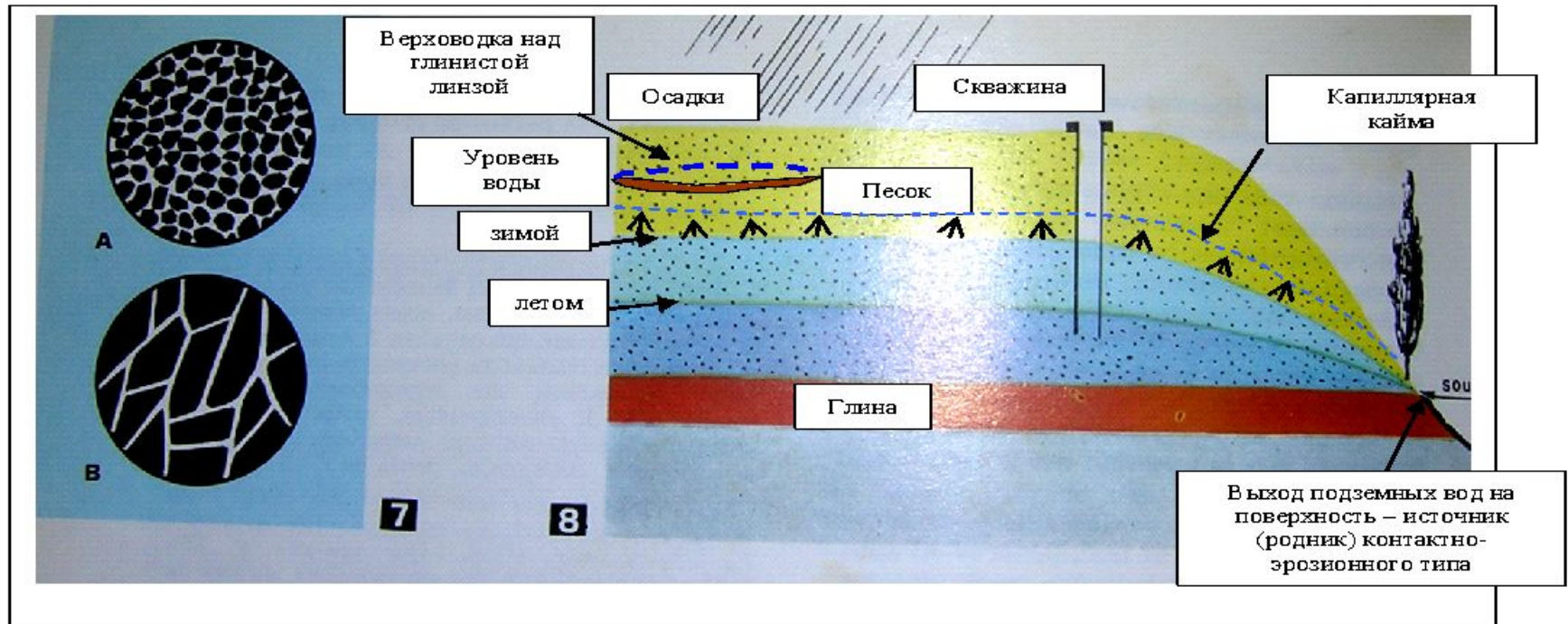




# Условия залегания и распространения подземных вод

Рисунок 1

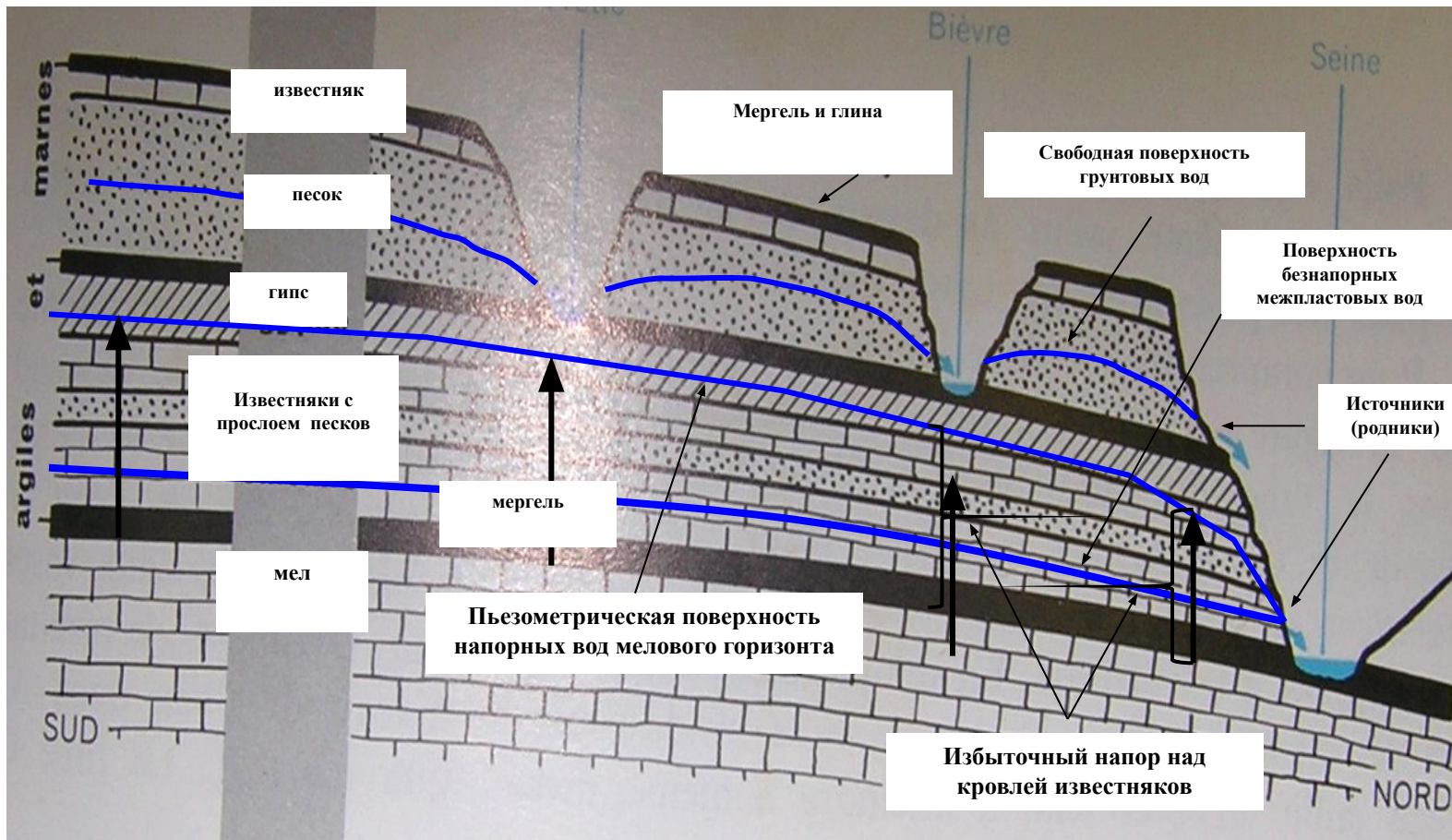
Схема формирования грунтовых вод, верховодки и капиллярной каймы



А – свободная (гравитационная) вода в поровом пространстве рыхлых дисперсных грунтов (пески, гравий, галечник, щебень, дресва).

В – свободная (гравитационная) вода в трещинном пространстве полускальных грунтов.

# Схема залегания безнапорных межпластовых вод в рыхлых (1) и в сцементированных (2) горных породах

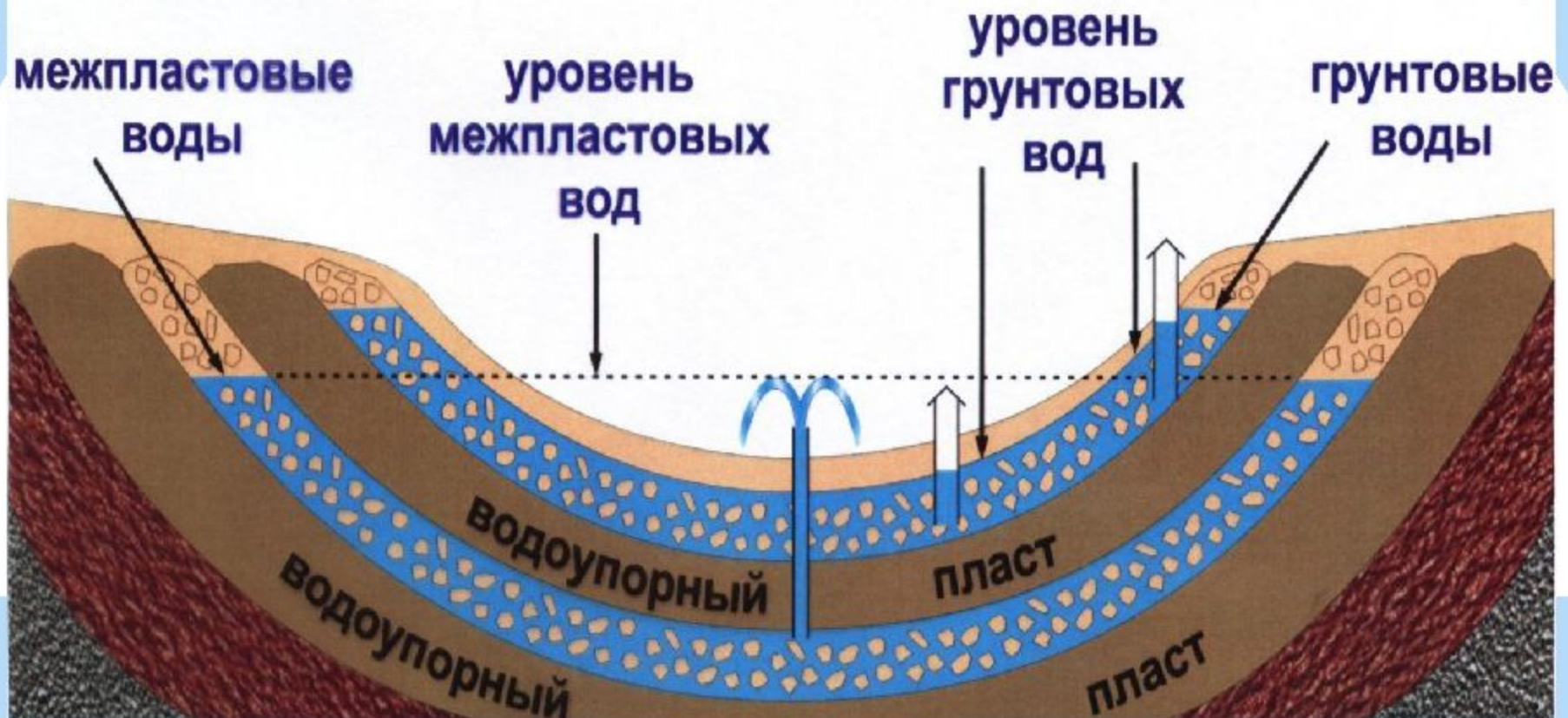


# Артезианские воды

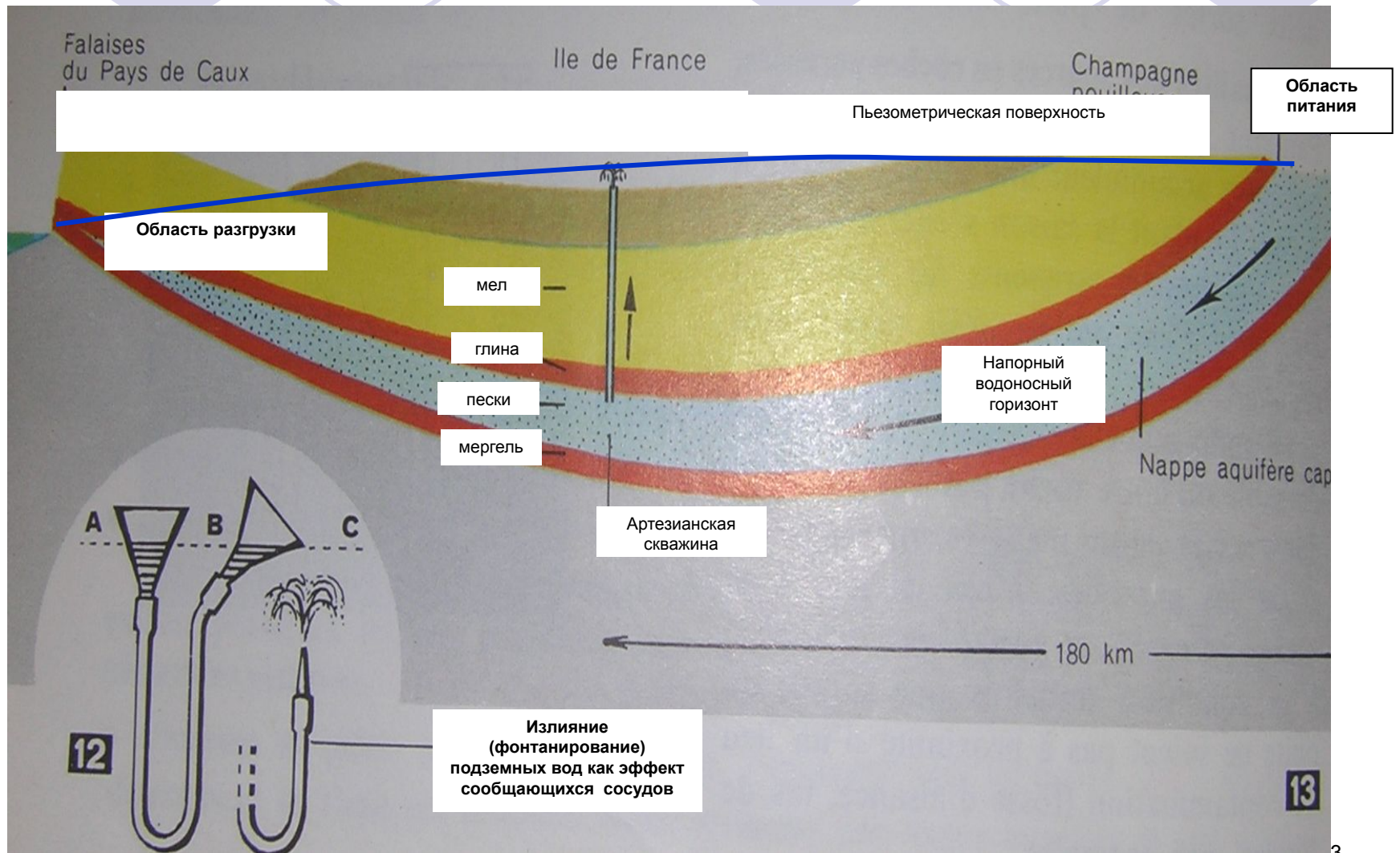
- **Название** от *Artesium*, латинского названия французской провинции Артуа, латинского названия французской провинции Артуа, где эти воды использовались с XII века) — напорные подземные воды, латинского названия французской провинции Артуа, где эти воды использовались с XII века) — напорные подземные воды, заключённые в водоносных пластах горных пород, латинского названия французской провинции Артуа, где эти воды использовались с XII века) — напорные подземные воды, заключённые в водоносных пластах горных пород между водоупорными слоями. Обычно встречаются в пределах определенных геологических структур (впадин, мульд, латинского названия французской провинции Артуа, где эти воды использовались с XII века) — напорные подземные



# Артезианская вода

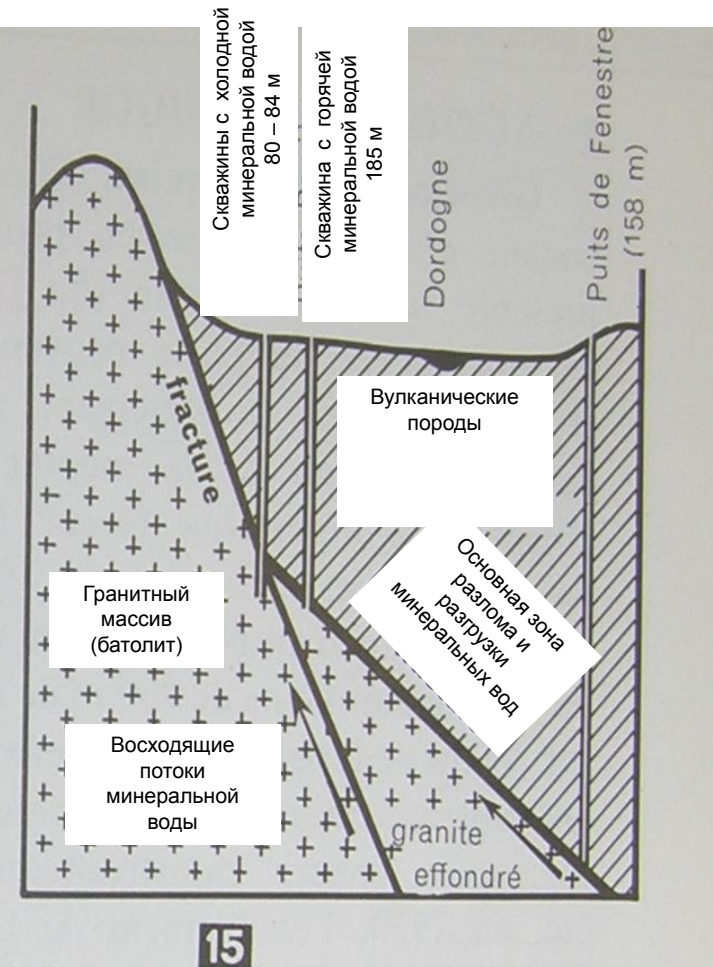
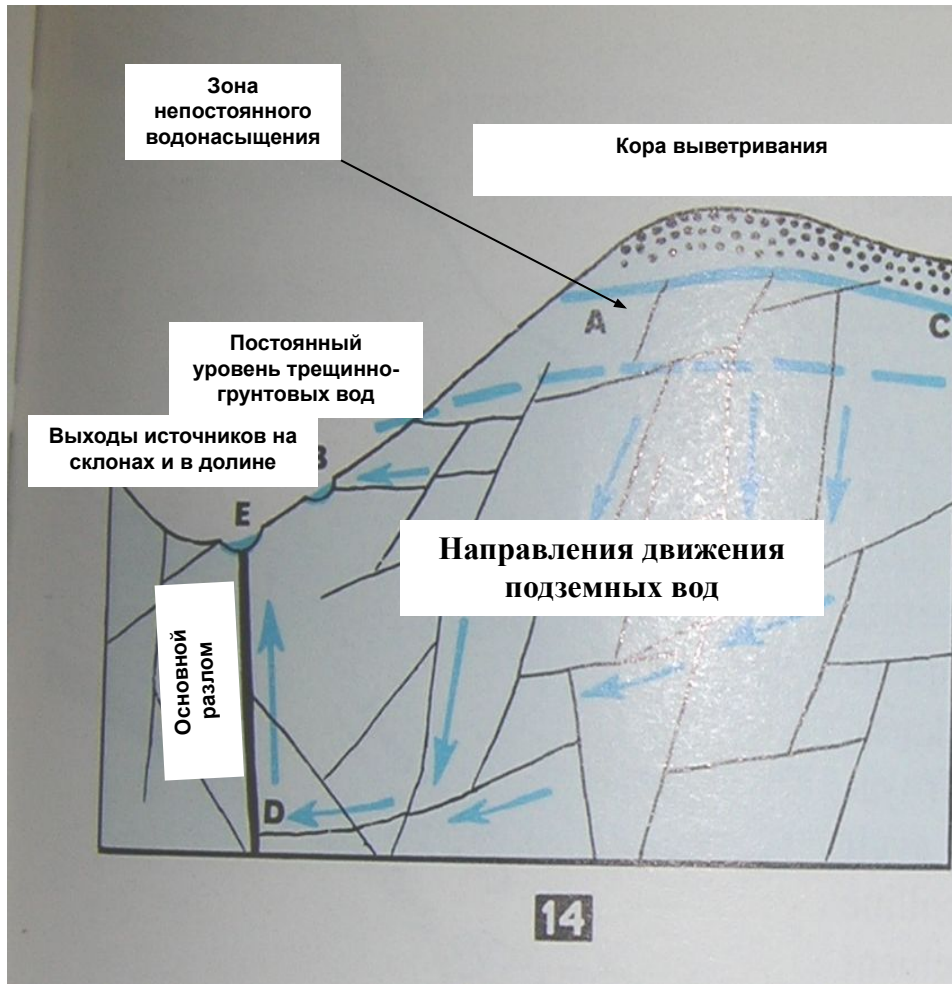


# Схема строения Парижского артезианского бассейна



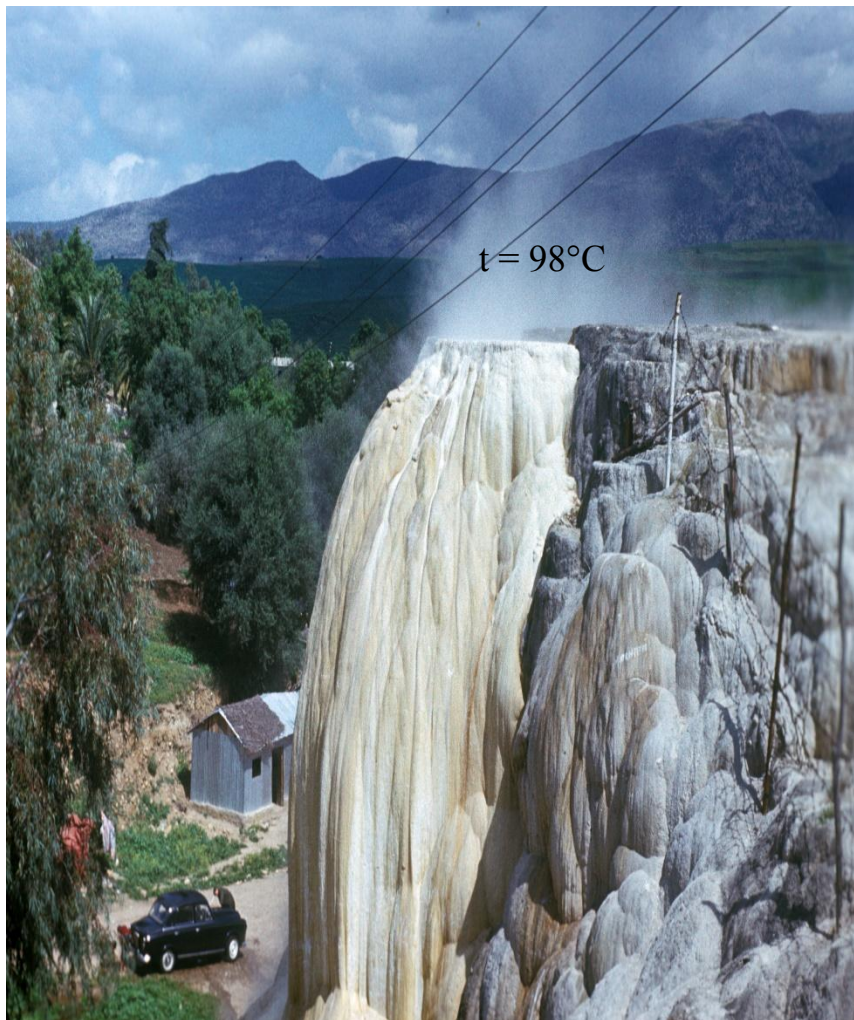


# Условия залегания и движения трещинных и трещинно-жильных пресных и минеральных вод





**В горных районах по разломам часто наблюдается разгрузка различных минеральных вод – холодных и горячих  
Выходы горячих углекислых вод и образование современных туфов  
(Алжир, Приморский Атлас).**





**Особое место в системе подземных вод занимают карстовые воды, приуроченные к массивам растворимых пород.**

**Схема строения массива карстовых пород.**







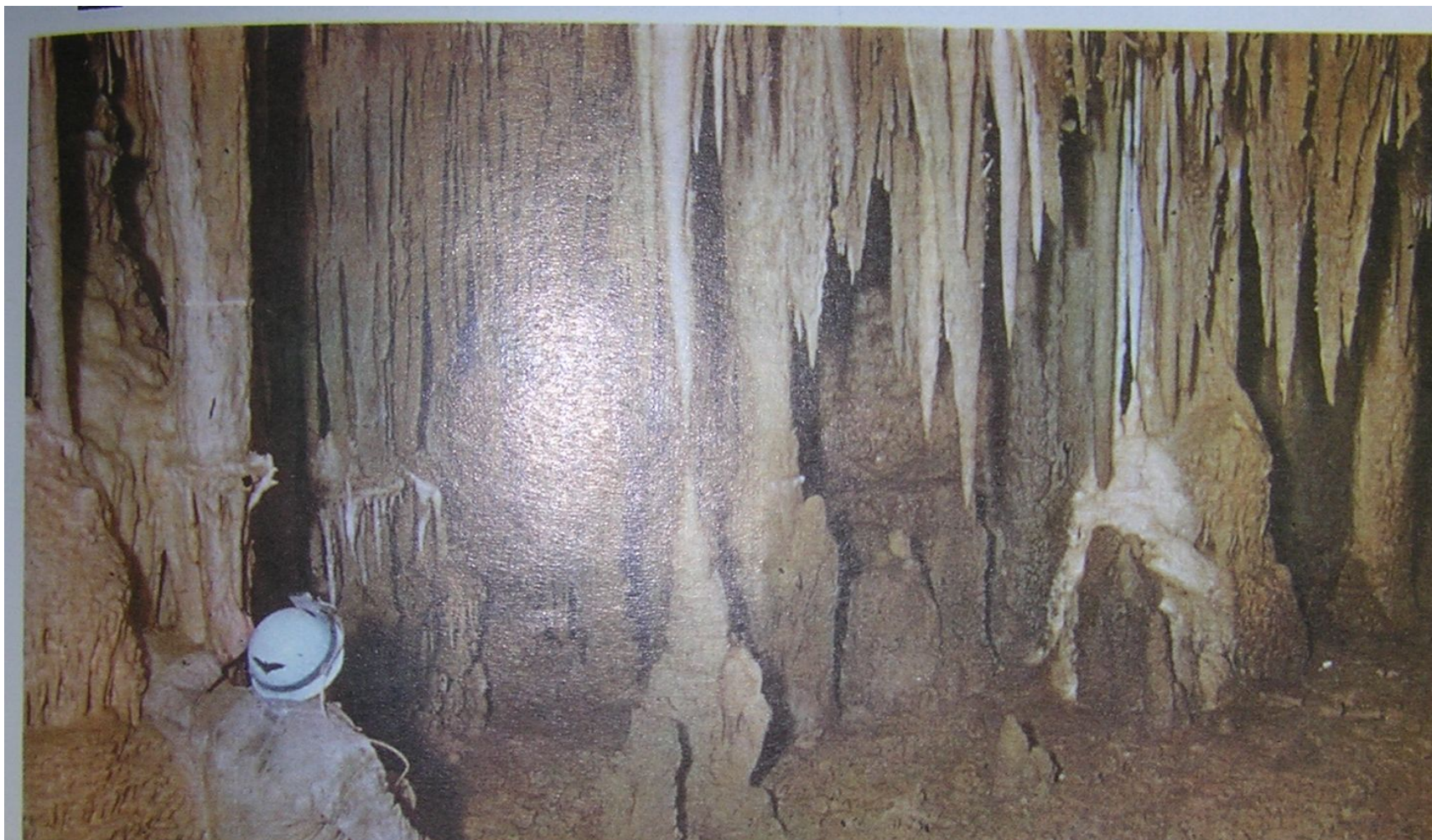


Сак-Актун - самая длинная подземная река. Мексика.



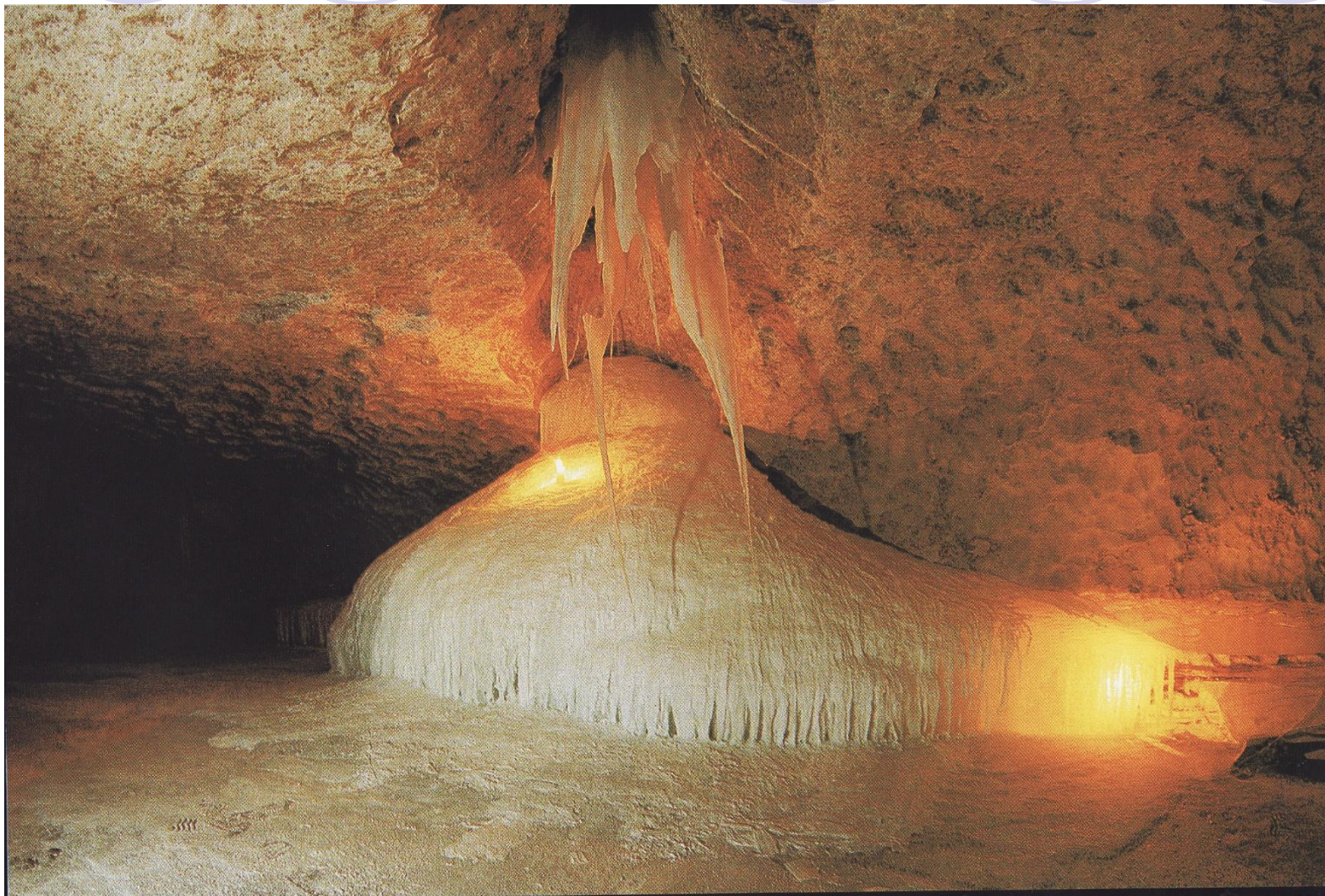


**Строение карстовой пещеры в карбонатных породах  
(изучением пещер занимается спелеология)**





# Карстовая ледяная пещера в пермских карбонатно-сульфатных породах





# Условия развития карста

Растворимые в воде горные породы распространены чрезвычайно широко в толще земной коры

1. Наличие растворимых горных пород (карбонаты, сульфаты, соли).
2. Водопроницаемость пород.
3. Движение воды и её растворяющая способность.

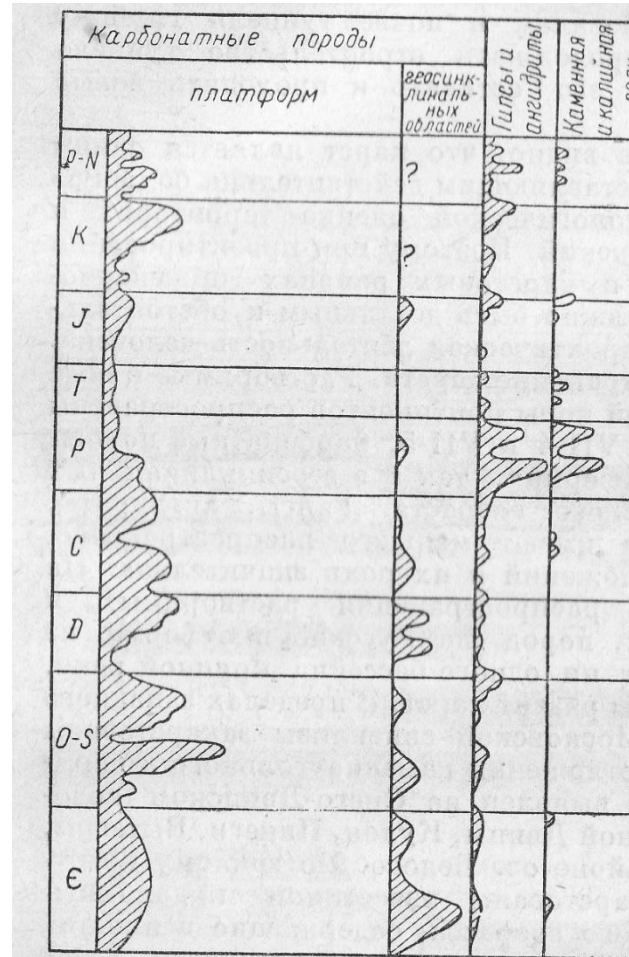


Рис. VII-4. Стратиграфическое размещение растворимых пород в земной коре (по Н. М. Страхову).

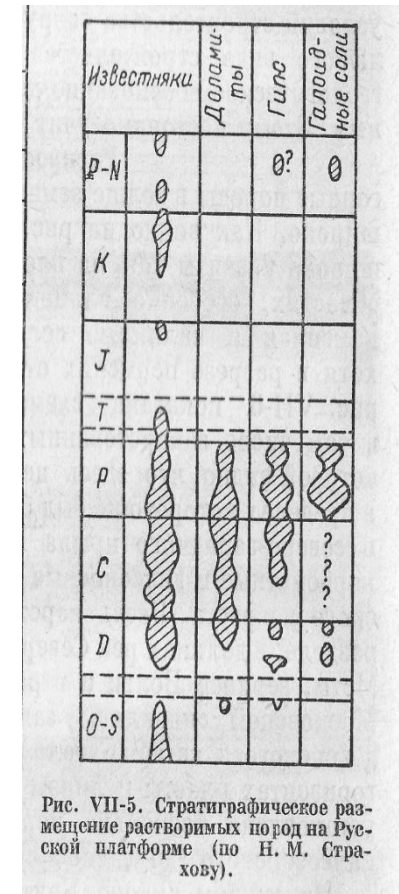
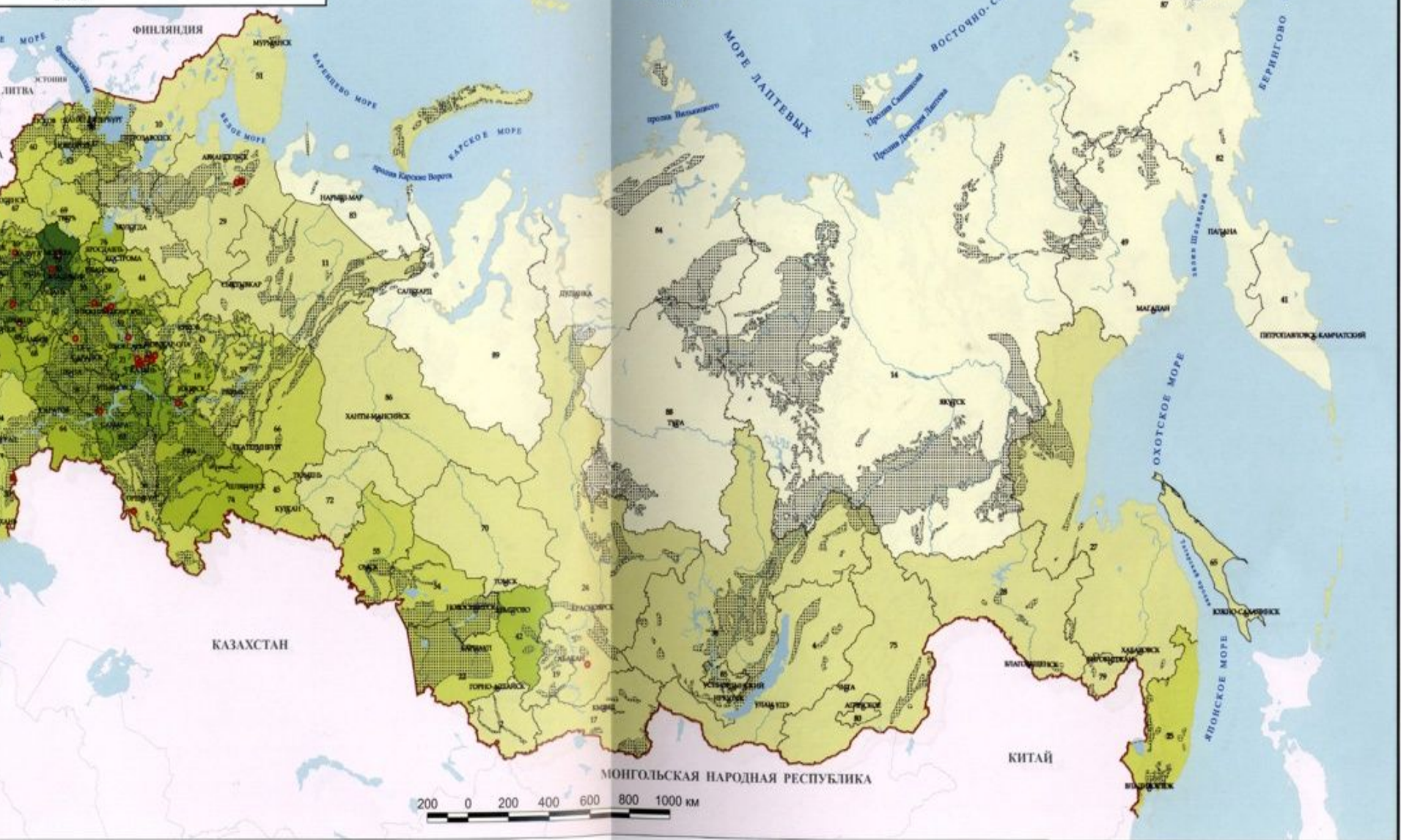


Рис. VII-5. Стратиграфическое размещение растворимых пород на Русской платформе (по Н. М. Страхову).

# ПЛОТНОСТЬ И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2005 Г.  
 Автор: Маркьян В.В., Корнилова Н.А.  
 2006 г.

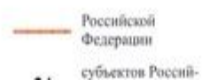


## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### 2. Плотность населения, чел/км<sup>2</sup>



### 3. Границы



### 4. Субъекты Российской Федерации

- |                 |                              |                   |                 |                  |                 |                                   |
|-----------------|------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Республики:     | 15. Северная Осетия – Алания | Области:          | 41. Камчатская  | 55. Омская       | 70. Томская     | 84. Таймырский (Долгано-Ненецкий) |
| 1. Адыгея       | 16. Татарстан                | 28. Амурская      | 42. Кемеровская | 56. Оренбургская | 71. Тульская    | 85. Усть-Ордынский (Бурятский)    |
| 2. Алтай        | 17. Тыва                     | 29. Архангельская | 43. Кировская   | 57. Орловская    | 72. Ульяновская | 86. Ханты-Мансийский              |
| 3. Башкортостан | 18. Удмуртская               | 30. Астраханская  | 44. Костромская | 58. Пензенская   | 73. Ульяновская | 87. Чувотский                     |
| 4. Бурятия      | 19. Хакасия                  | 31. Белгородская  | 45. Курганская  | 60. Пермская     | 74. Челябинская | 88. Эвенкийский                   |
| 5. Дагестан     | 20. Чеченская                | 32. Брянская      | 46. Курская     | 61. Ростовская   | 75. Читинская   | 89. Ямало-Ненецкий                |
| 6. Ингушетия    | 21. Чувашская                | 33. Владимирская  |                 |                  |                 |                                   |



# Схематическая карта распространения карстующихся пород на Европейской части России и сопредельных стран

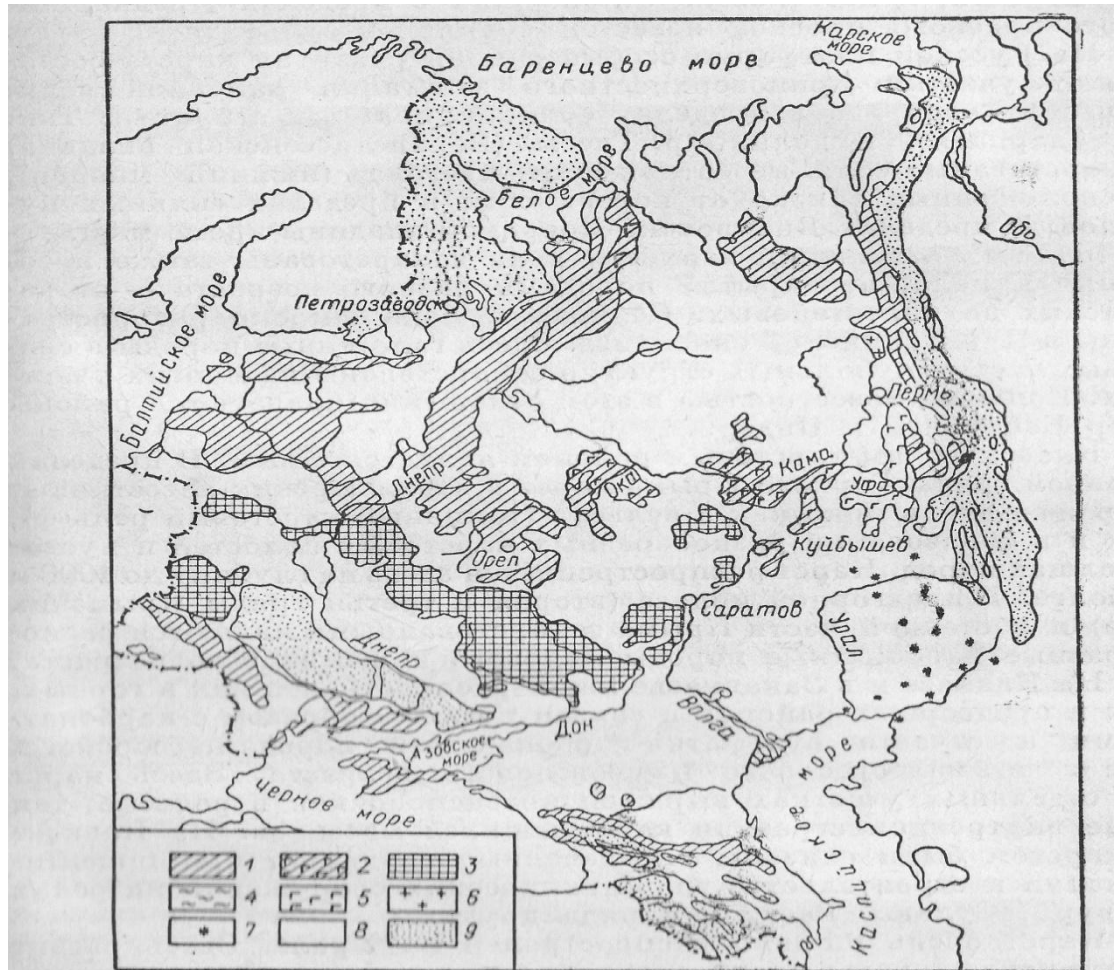


Рис. VII-6. Схематическая карта карстовых районов европейской части СССР, Урала и Кавказа (по Н. В. Родионову).

1—7 — закарстованные породы: 1 — известняки, доломиты, мраморы и др., 2 — фатно-карбонатные породы, 3 — мел, мергельно-меловые породы, 4 — карбонатный флювиалит, 5 — гипсы, ангидриты, 6 — соли, 7 — соляные купола; 8—9 — некарстовые породы: 8 — осадочные, 9 — изверженные, метаморфические и вулканогенные.





## Влияние температуры на растворимость ( кривая растворимости) стр. 189

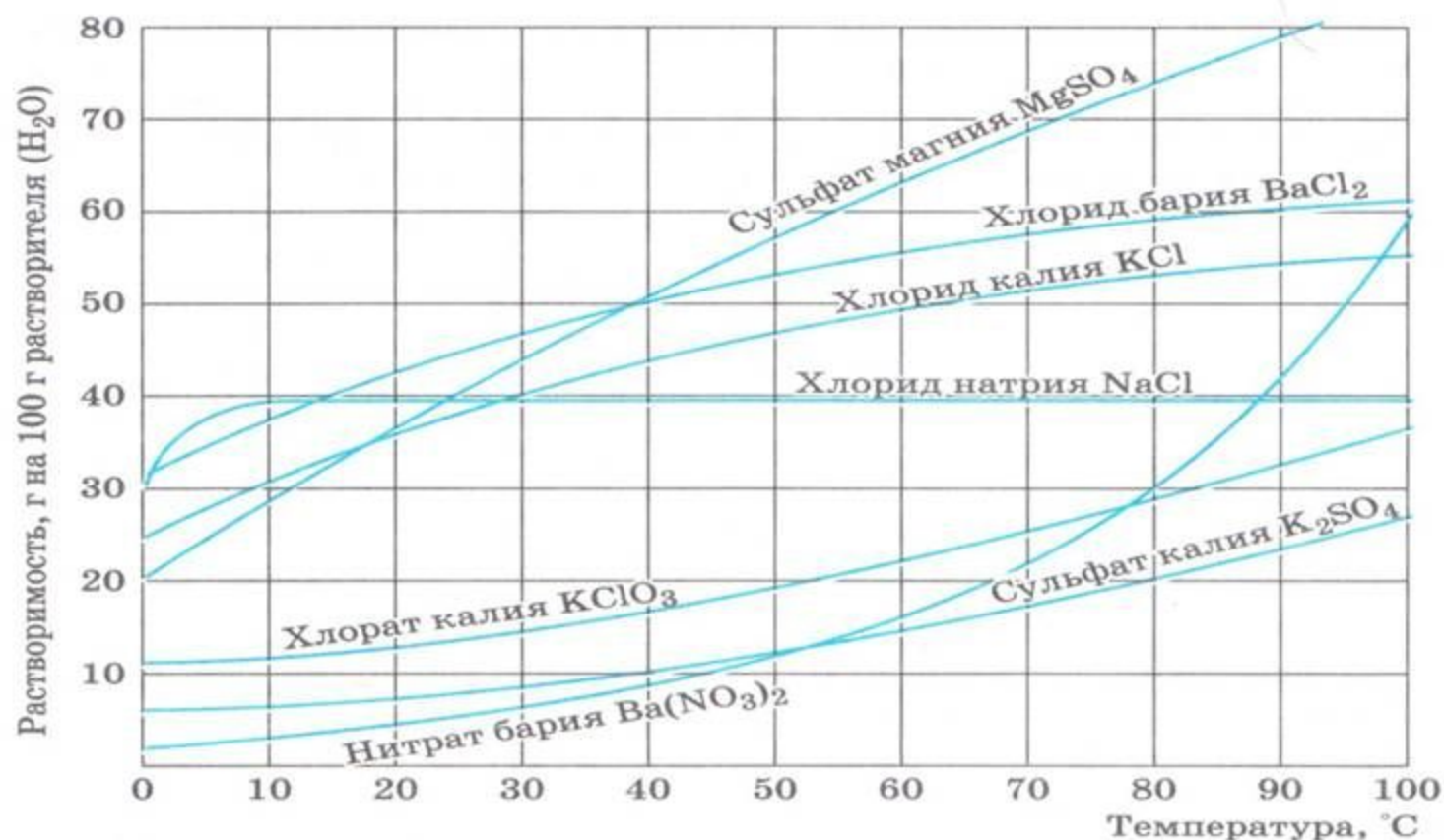


Рис. 123. Растворимость веществ в зависимости от температуры

# Условия залегания карстующихся пород и условия движения воды определяют степень закарстованности и вероятность возникновения свежих провалов

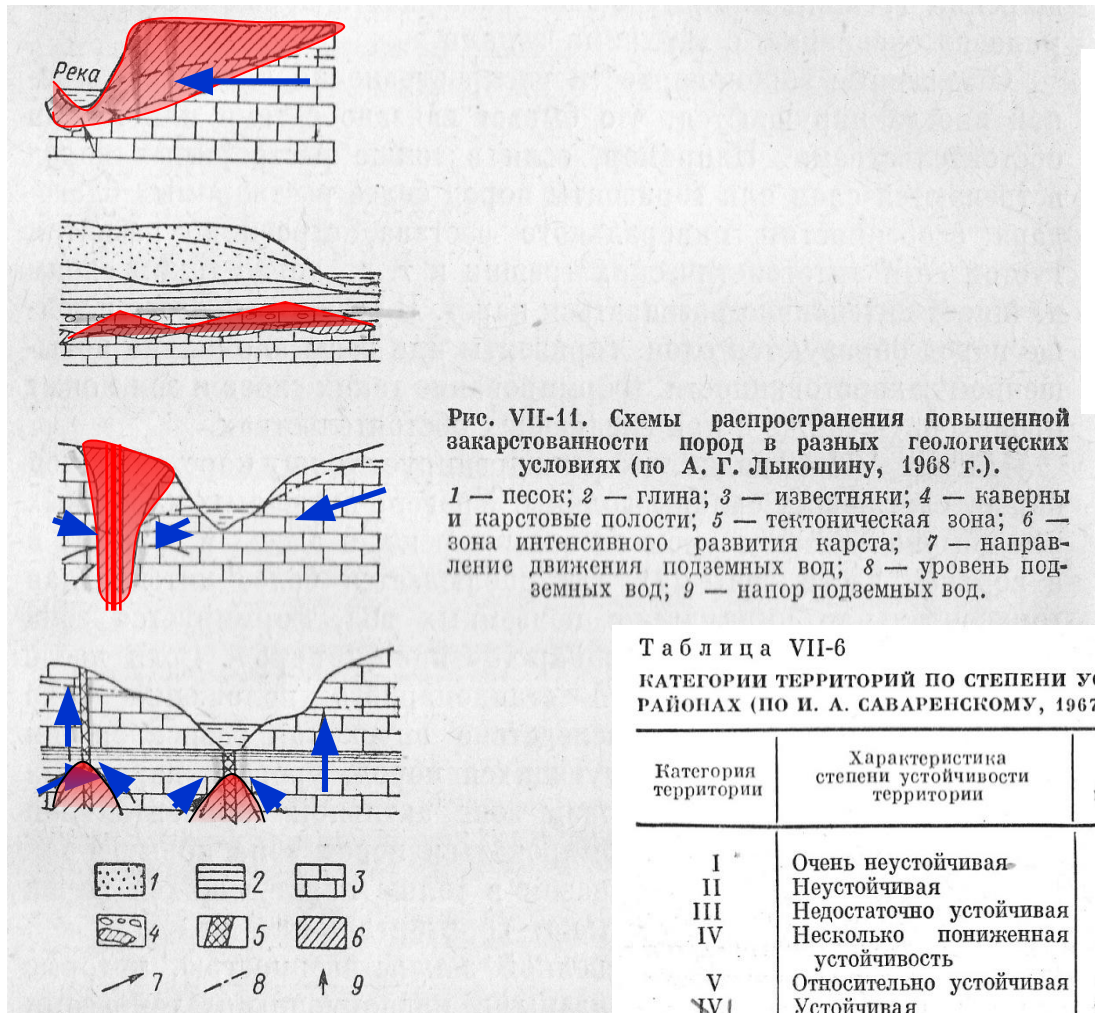


Рис. VII-11. Схемы распространения повышенной закарстованности пород в разных геологических условиях (по А. Г. Лыкошину, 1968 г.).

1 — песок; 2 — глина; 3 — известняки; 4 — каверны и карстовые полости; 5 — тектоническая зона; 6 — зона интенсивного развития карста; 7 — направление движения подземных вод; 8 — уровень подземных вод; 9 — напор подземных вод.

Среднегодовое количество провалов

$$P = n / (F \times t), \text{ случаев на км}^2 \text{ в год}$$

или

$$T = 1/P = (F \times t) / n$$

Средняя повторяемость провалов (промежуток времени, через который на площади в 1 км<sup>2</sup> появляется 1 провал)

Таблица VII-6

КАТЕГОРИИ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ (ПО И. А. САВАРЕНСКОМУ, 1967 г.)

Категория территории	Характеристика степени устойчивости территории	Среднее число провалов в год на площади 1 км <sup>2</sup>	Один провал на площади 1 км <sup>2</sup> за время, годы
I*	Очень неустойчивая	> 1,0	1
II	Неустойчивая	0,1—1,0	1—10
III	Недостаточно устойчивая	0,05—0,1	10—20
IV	Несколько пониженная устойчивость	0,01—0,05	20—100
V	Относительно устойчивая	< 0,01	> 100
XV	Устойчивая	Образование провалов исключается	



# Карстовые провалы всегда внезапны и катастрофичны по своим последствиям



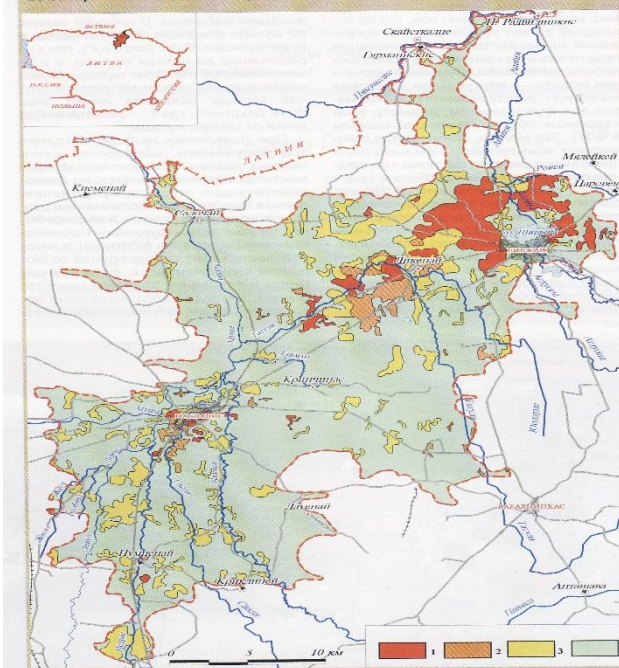


# Карстово – суффозионные провалы часто наблюдаются на территориях, где карстующиеся породы перекрыты песчаными отложениями.

## Северная Литва



Рис. 1. Карта плотности распространения карстовых воронок в карстовом районе Северной Литвы. 1 – очень сильно закарстованные площади – более 80 воронок на 1 км<sup>2</sup>; 2 – сильно закарстованные площади – 50-80 воронок на 1 км<sup>2</sup>; 3 – средне закарстованные площади – 20-50 воронок на 1 км<sup>2</sup>; слабо закарстованные площади – до 20 воронок на 1 км<sup>2</sup>



## Западное Предуралье





# **Выбор противокарстовых мероприятий зависит от конкретных особенностей инженерно-геологических условий:**

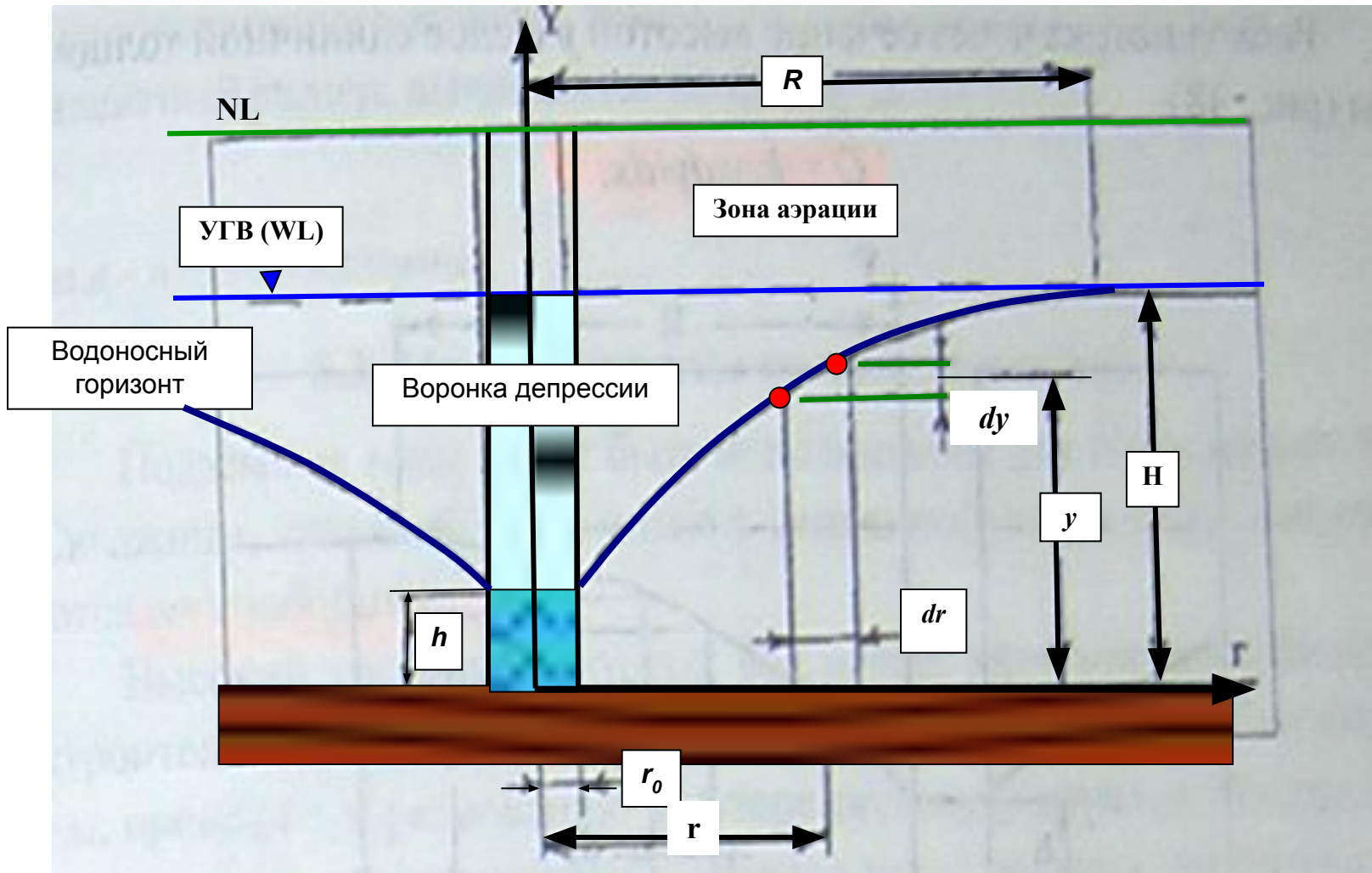
- 1. Тип карстующихся пород.**
- 2. Глубина залегания растворимых пород.**
- 3. Степень закарстованности и обводнённости пород.**
- 4. Особенности проектируемых сооружений.**

## **Комплексы противокарстовых мероприятий:**

- 1. Планировка территории и регуляция поверхностного стока.**
- 2. Каптаж подземных вод и дренаж обводнённых пород.**
- 3. Площадная подготовка основания.**
- 4. Устройство опор глубокого заложения.**
- 5. Уплотнение и укрепление пород цементацией.**
- 6. Конструктивное усиление зданий и сооружений.**

# Расчёты водопритоков к горным выработкам

## Схема расчёта водопритока к совершенной скважине





## Основные формулы расчёта водопритока к одиночной скважине

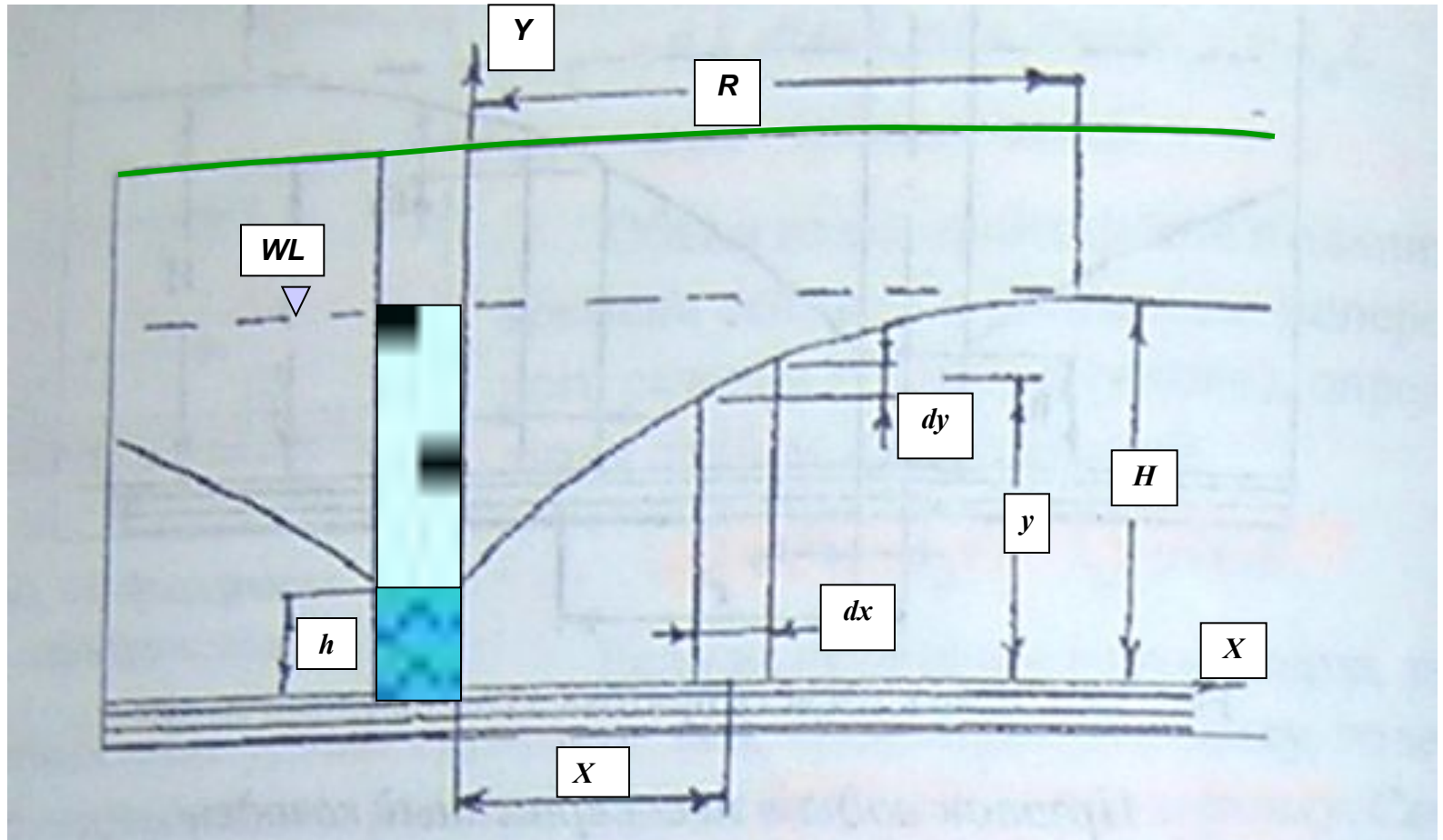
$$Q = k_{\phi} \times 2\pi \times r \times \gamma \times \frac{d\gamma}{dr}$$

$$Q \times \frac{dr}{r} = 2\pi \times k_{\phi} \times \gamma \times d\gamma$$

**Интегрируя левую часть данного дифференциального уравнения в пределах радиуса колодца  $r_0$  до радиуса депрессионной воронки  $R$ , а правую часть для переменной  $\gamma$  – в пределах от  $h$  до  $H$ , находим выражение для притока в колодец (формула Дюпюи):**

$$Q = \pi k_{\phi} \frac{(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_0}} = 1,366 \times k_{\phi} \times \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r_0} \text{ (м}^3 \text{ / сут, л / мин)}$$

Точно так же ведётся расчёт к совершенной траншее, приток к которой рассматривается для прямоугольного контура с одной или двух сторон траншеи.





# Основные формулы расчёта водопритока к траншее

$$Q = k_{\phi} \times \gamma \frac{dy}{dx}$$

Интегрирование данного дифференциального уравнения по  $x$  от 0 до  $R$  и по  $y$  от  $h$  до  $H$  даёт в результате приток на один погонный метр с одной стороны траншеи:

$$Q = \frac{k_{\phi} (H^2 - h^2)}{2R} (\text{м}^3 / \text{сут}, \text{л} / \text{мин})$$

Соответственно полный приток в траншею с двух сторон:

$$Q = \frac{k_{\phi} (H^2 - h^2)}{R} (\text{м}^3 / \text{сут}, \text{л} / \text{мин})$$

Приток воды в строительный котлован, в том числе отличающийся в плане от круглого, определяется по формулам для совершенного или несовершенного колодца эквивалентного радиуса:

$$r_{\text{э}} = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

где  $F$  – площадь котлована.

## Расчёт притока в несовершенные выработки

**Приток воды в несовершенный колодец сводится к расчёту притока к условному совершенному колодцу в водоносном горизонте мощностью, равной мощности активного слоя:**

$$H = \frac{4}{3} P$$

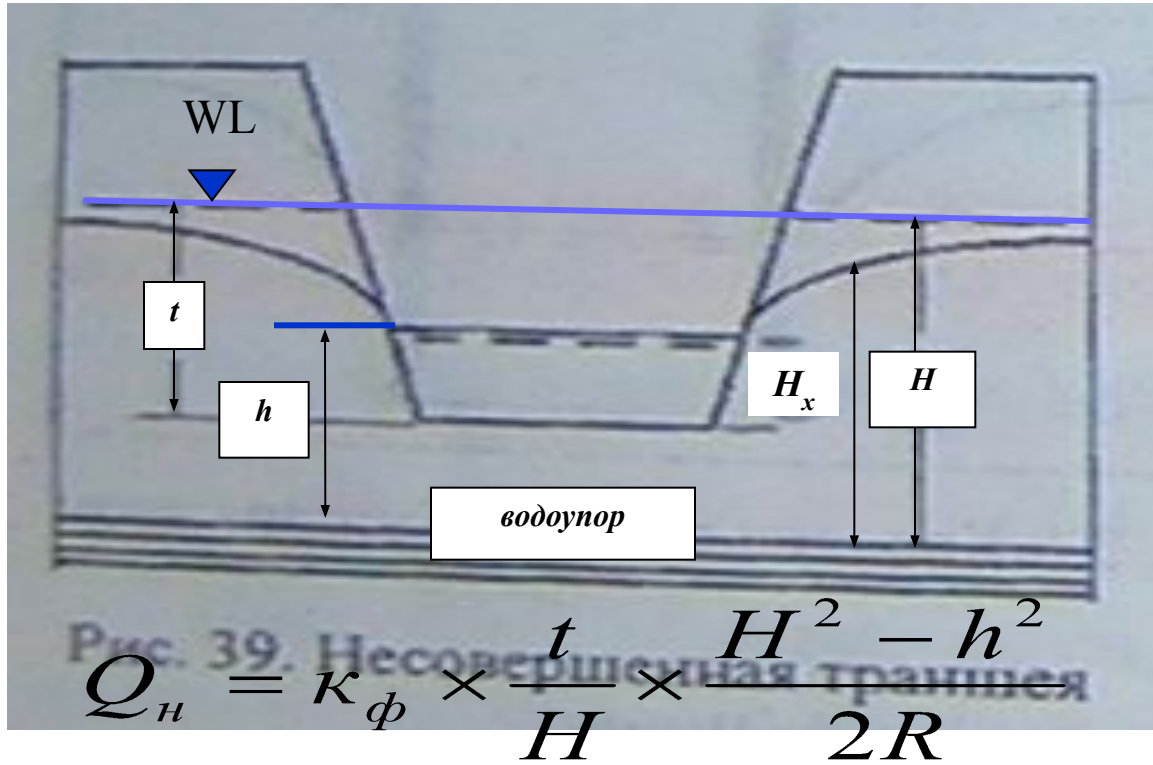
**Для колодца с непроницаемыми стенками и фильтрующим дном справедлива формула:**

$$Q = 2k_{\phi} \times D \times S$$

**где  $S$  – понижение воды в колодце.**



Соответственно приток к несовершенной траншее (котловану)  $Q_n$  составляет часть притока в условную совершенную траншею (котлован) в том же водоносном горизонте, пропорциональную заглублению траншеи (котлована) в водоносный горизонт  $t/H$ :



Для расчёта положения депрессионной кривой в зоне влияния линейных дренажей используют формулу:

$$H_x = H\sqrt{x/R}$$

## Лекция 6

**Подземные воды как один из факторов инженерно-геологической обстановки.**

**Вопросы гидрохимической характеристики и оценки агрессивности подземных вод к бетонам и металлам рассматриваются на практических занятиях, посвящённых выполнению курсовой работы «Оценка гидрогеологических условий площадки строительства»!**



При проходке горных выработок с подземными водами связан ряд опасных процессов!

## Плывуны

- *Плывун – пески (супеси) тонко- и мелкозернистые, пылеватые и сильно пылеватые, водонасыщенные, потерявшие устойчивость и пришедшие в движение в результате вскрытия котлованами и горными выработками.*
- *Псевдоплывуны – грубозернистые и грубообломочные породы,двигающиеся под большим напором.*
- *Псевдоплывуны – глинистые водонасыщенные породы, теряющие связность и приобретающие текучую консистенцию в определённом напряжённом состоянии.*







## **Плывуны (продолжение)**

**Характерные внешние признаки плывунов:**

- наличие закисных форм железа, органики;**
- большая влагоёмкость и малая водоотдача (вязкая жидкость);**
- пробки в скважинах, трудная разработка;**
- тиксотропия, т. е. способность разжижаться при сотрясении и вибрации, а при прекращении таких воздействий восстанавливать первоначальное состояние.**
- высыхание плывуна переводит его в связную, достаточно твёрдую, более светлую, чем первоначально, породу, которая ломается, крошится и с трудом растирается руками.**

# Природа плавунности.

Плавунность – следствие действия гидродинамического давления и особенностей состава пород (А. Ф. Лебедев, 1935). Определённую роль могут играть микроорганизмы, способствующие газонасыщению плавуннов (В. В. Радина, 1972).

Природа плавунности связана с действием гравитационных, гидростатических и гидродинамических сил на гидрофильную породу с ослабленными силами взаимодействия между частицами.

$$\sigma = \bar{\sigma} + u$$

$\sigma$  - полные напряжения;

$\bar{\sigma}$  - эффективные напряжения;

$$\bar{\sigma} = \rho' \times z$$

$$\rho' = (\rho_s - \rho_e) \times (1 - n)$$

$\rho'$  - плотность породы с учётом взвешивания;

$Z$  – мощность водонасыщенного песка.



# Схема действия гидродинамического давления при движении воды снизу вверх

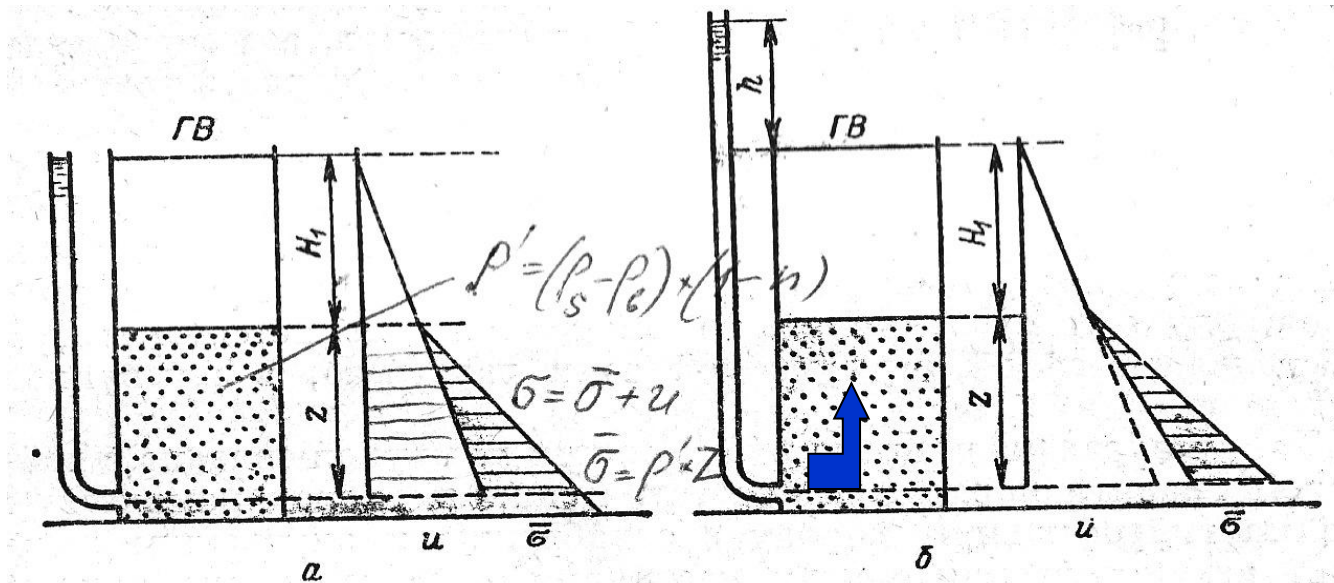


Рис. VIII-1. Распределение напряжений в водонасыщенной песчаной породе — плывуне.

$\bar{\sigma}$  — эффективное напряжение;  $u$  — поровое давление.

$$D_{зд} = \frac{H_1 + z + h}{z} \times \rho_w = I \times \rho_w$$

## Природа плавунности.

### Эффект гидродинамического давления (снизу вверх):

$$D_{z\partial} = \frac{H_1 + z + h}{z} \times \rho_v = I \times \rho_v$$

Видно, что гидродинамическое давление, действующее снизу вверх, уменьшает эффективное напряжение.

$$\bar{\sigma} = z \times \rho' - D_{z\partial}$$

Если гидродинамическое давление достигнет величины гравитационного давления от веса взвешенной в воде породы, эффективное напряжение будет равно нулю, а напорный градиент достигнет максимальной величины, порода при этом теряет устойчивость, в скважинах, например, возникают песчаные пробки.



# **Особенности строительства на участках развития пльвунов.**

- Для оценки опасности проявления пльвунов необходимо знать следующее:
- **Условия залегания пльвуна;**
- **Состав и свойства пльвунных и вмещающих пород;**
- **Особенности рельефа участка;**
- **Гидрогеологические условия участка;**
- **Расположение существующих и проектируемых сооружений, их конструктивные особенности и зоны влияния.**

# Меры борьбы с пльвунами

- **Пльвуны следует всегда рассматривать как слабое основание и проектировать фундаменты после их искусственного закрепления и усиления самих фундаментов, предусматривать охранные зоны, где недопустимы земляные работы (Останкинская телебашня). Прорезка пльвунов, подсыпка, гравелистые подушки, шпунтовое ограждение. Свайные основания, опускаемые колодцы глубиной до 70 м и кессоны глубиной до 40 м.**
- **Искусственное улучшение пльвунов (силикатизация, электроосмос, виброуплотнение, замораживание).**





# Суффозионные явления.

- **Суффозия** – это вынос мелких частиц из породы, заполнителя из трещин и полостей. Это своеобразный процесс подземного размыва горной породы. Развитие суффозии характеризует фильтрационное разрушение, фильтрационную неустойчивость горной породы или заполнителя трещин и карстовых полостей.
- **Суффозия** вызывает уменьшение плотности породы и соответственно увеличение пористости. Как следствие нарушается устойчивость склонов и откосов, образуются оползни, возникают значительные и неравномерные осадки сооружений. Изменяется водопроницаемость породы, возникают большие притоки воды в котлованы и горные выработки или большие потери воды на фильтрацию под плотинами и в обход плотин.

# Основные действующие силы, вызывающие суффозию:

- либо большие скорости движения фильтрационного потока,
- либо повышение гидродинамического давления. Если гидродинамическое давление велико, то оно может привести всю массу породы в плавунное состояние, или вызвать суффозионный вынос мелкозёма.
- Таким образом, суффозия определяется:
  - неоднородностью породы;
  - повышенным градиентом потока и повышенным гидродинамическим давлением;
  - условиями залегания и контактирования пород различного гранулометрического состава.

# Размывающие скорости подземного потока, при которых начинается суффозия (по Д. Д. Джастину)

Расчётный размер частиц, мм	Размывающие скорости, м/мин	Расчётный размер частиц, мм	Размывающие скорости, м/мин
<b>5</b>	<b>13,23</b>	<b>0,1</b>	<b>1,83</b>
<b>3</b>	<b>10,37</b>	<b>0,08</b>	<b>1,67</b>
<b>1</b>	<b>5,91</b>	<b>0,05</b>	<b>1,31</b>
<b>0,8</b>	<b>5,3</b>	<b>0,03</b>	<b>1,04</b>
<b>0,5</b>	<b>4,18</b>	<b>0,01</b>	<b>0,59</b>
<b>0,3</b>	<b>3,08</b>		



# Суффозионные явления

- Как показали исследования многих исследователей для развития суффозии необходимо, чтобы коэффициент неоднородности грансостава был больше 10 (20), а градиент напора больше 5.

$$C_u(K_n) = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 20(10)$$
$$I > 5,$$

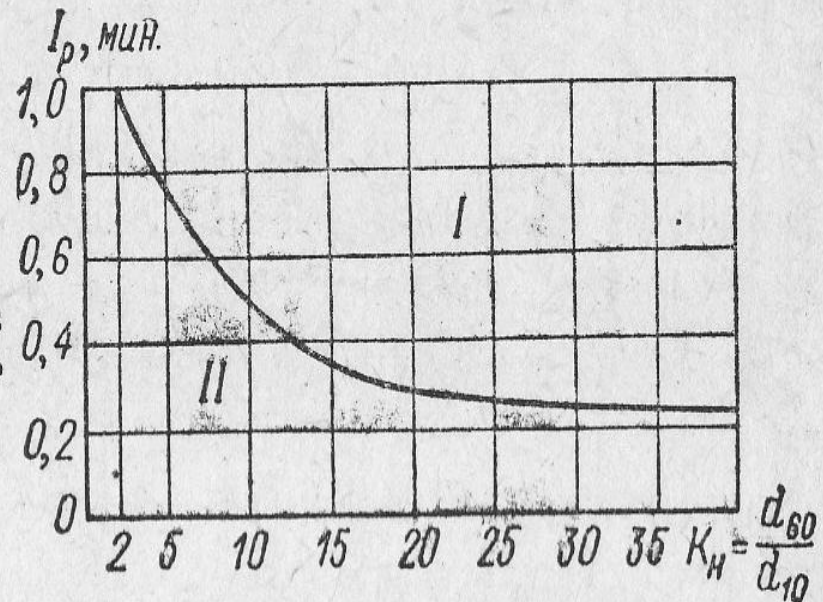
при этом одни исследователи отдают предпочтение влиянию градиента потока, другие - размывающим скоростям и гранулометрическому составу грунта

# Суффозионные явления

Наиболее часто для оценки возможности развития суффозии в горных выработках используют график В. С. Истоминой (1957), вычисляя напорный градиент в зависимости от понижения при откачке  $I_p = S/0,33R$ , где  $R$  – радиус влияния откачки

Рис. VIII-10. График для оценки возможности развития суффозии (по В. С. Истоминой, 1957 г.).

*I* — область разрушающих градиентов фильтрационного потока; *II* — область безопасных градиентов.





## Суффозионные явления

Меры борьбы с суффозионными явлениями:

- дренаж, шпунтовые ограждения, противофильтрационные завесы, обратные фильтры (отсыпка водопроницаемых пород слоями в порядке постепенного возрастания размера частиц от мелких к крупным в направлении фильтрационного потока).





## Методы защиты от подземных вод

1. Скважины, траншеи, устроенные с целью получения воды для хозяйственных нужд, называются **водозаборами**.
2. Скважины, траншеи и прочие выработки, устроенные для снижения уровня или напора подземных вод, называются **дренажными или водопонижительными**.
3. Система открытых или закрытых траншей называется **горизонтальным дренажом**. Горизонтальный дренаж устраивается на сельскохозяйственных угодьях, под дорожным покрытием улиц и дорог, вдоль фундаментов различных зданий при высоком уровне подземных вод и подтоплении территории.
4. **Открытый водоотлив** применяется при умеренных притоках в котлованы или траншеи.
5. При необходимости значительного снижения уровня подземных вод или полного осушения толщи до вскрытия котлованов и траншей применяется вертикальный дренаж. В песчаных грунтах с большим притоком воды применяют иглофильтровые установки.

# Основные типы дренажей

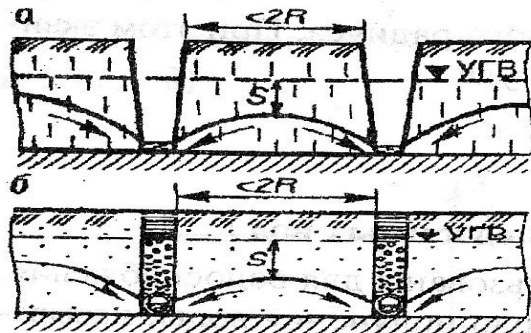


Рис. 41. Горизонтальный дренаж:  
а – открытый; б – закрытый

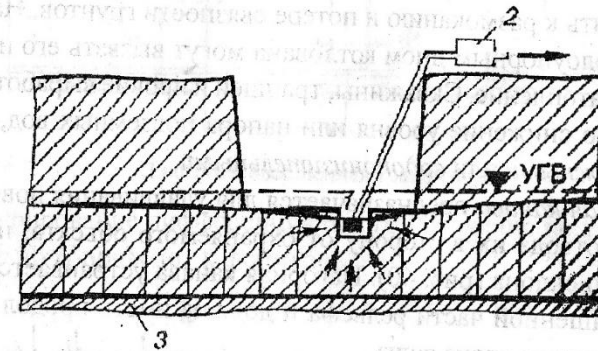


Рис. 42. Открытый водоотлив:  
1 – водосборник; 2 – насос; 3 – водоупор

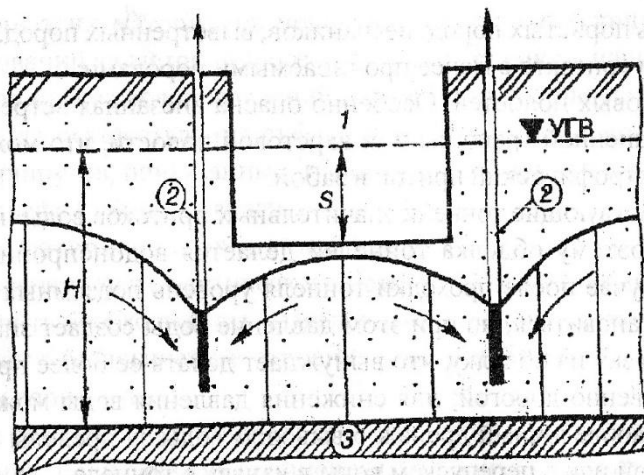


Рис. 43. Вертикальный дренаж:  
1 – котлован; 2 – иглофильтр; 3 – водоупор

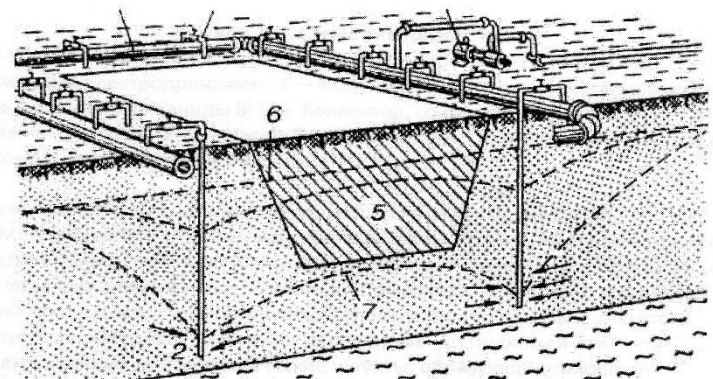


Рисунок 3.2 Схема действия иглофильтров:  
1 — Иголфильтры; 2 — Перфорированная часть иглофильтра; 3 — Трубопровод (коллектор); 4 — Самовсасывающий вихревой насос; 5 — котлован; В — Естественный уровень грунтовых вод; 7 — пониженный уровень

# Виды водопонижения при проходке траншей (см. курсовую работу)

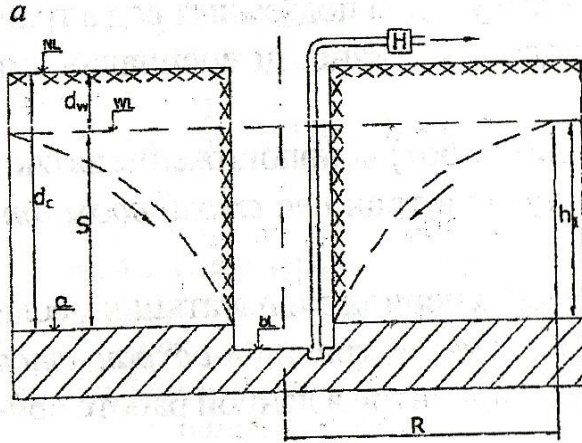


Схема принудительного водопонижения в траншее совершенного типа

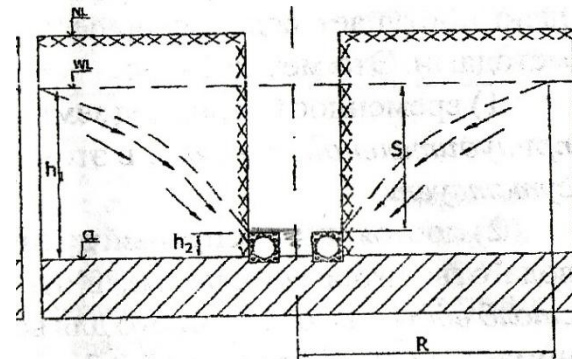


Схема самотёчного водопонижения в траншее совершенного типа

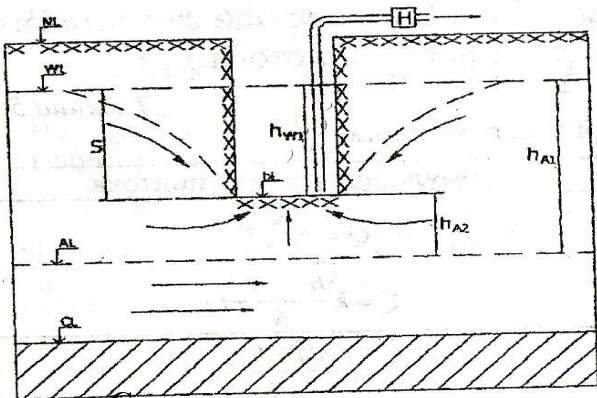


Схема принудительного водопонижения в траншее несовершенного типа

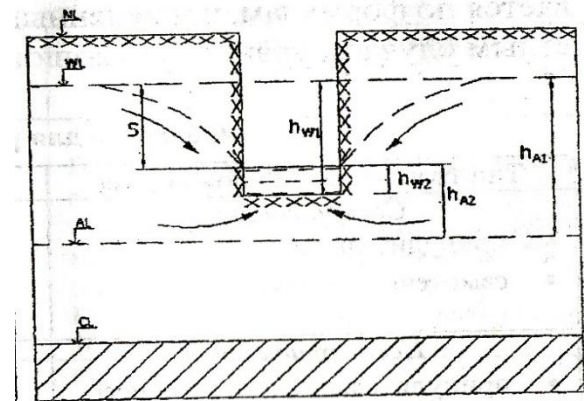


Схема самотёчного водопонижения в траншее несовершенного типа



# Некоторые примеры организации дренажа территорий и отдельных сооружений (по Г. И. Клиориной)

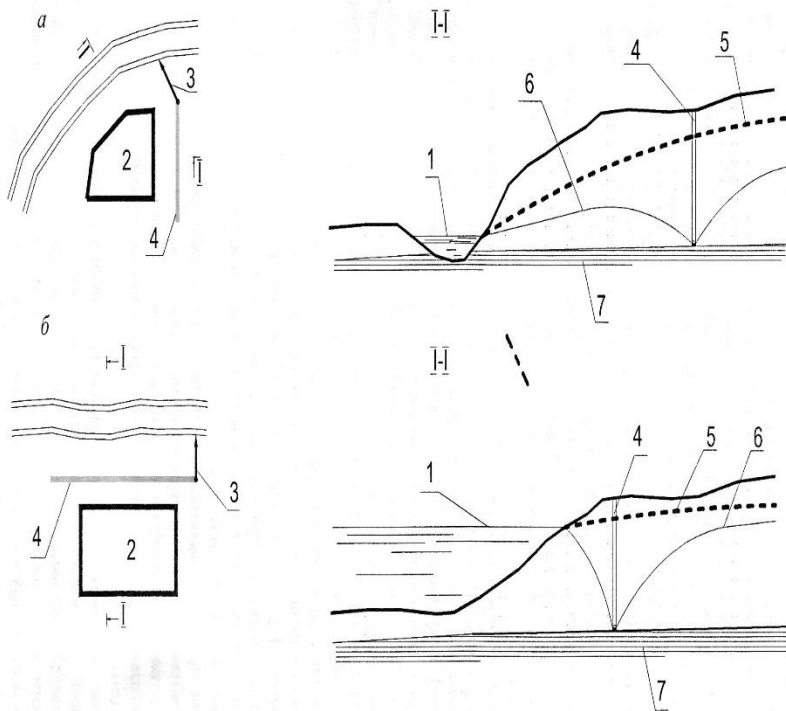


Рис. 1.6. Системы дренажа: *а* – однолинейный головной совершенного типа; *б* – однолинейный береговой совершенного типа; 1 – расчетный уровень водотока; 2 – защищаемая территория, объект; 3 – сбросная линия; 4 – дренаи со смотровыми колодцами; 5 – бытовой уровень грунтовых вод (УГВ); 6 – пониженный УГВ; 7 – водоупор

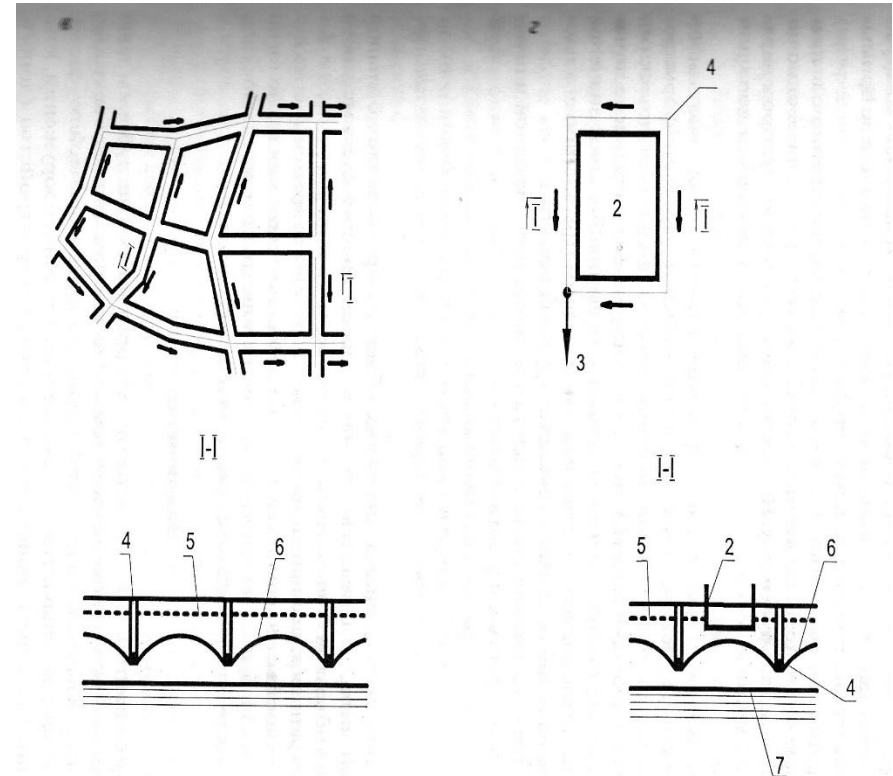


Рис. 1.6. Системы дренажа: *в* – систематический несовершенного типа; *г* – кольцевой несовершенного типа; 2 – защищаемая территория, объект; 4 – дренаи со смотровыми колодцами; 5 – бытовой УГВ; 6 – пониженный УГВ; 7 – водоупор

# Некоторые примеры организации дренажа территорий и отдельных сооружений (по Г. И. Клиориной)

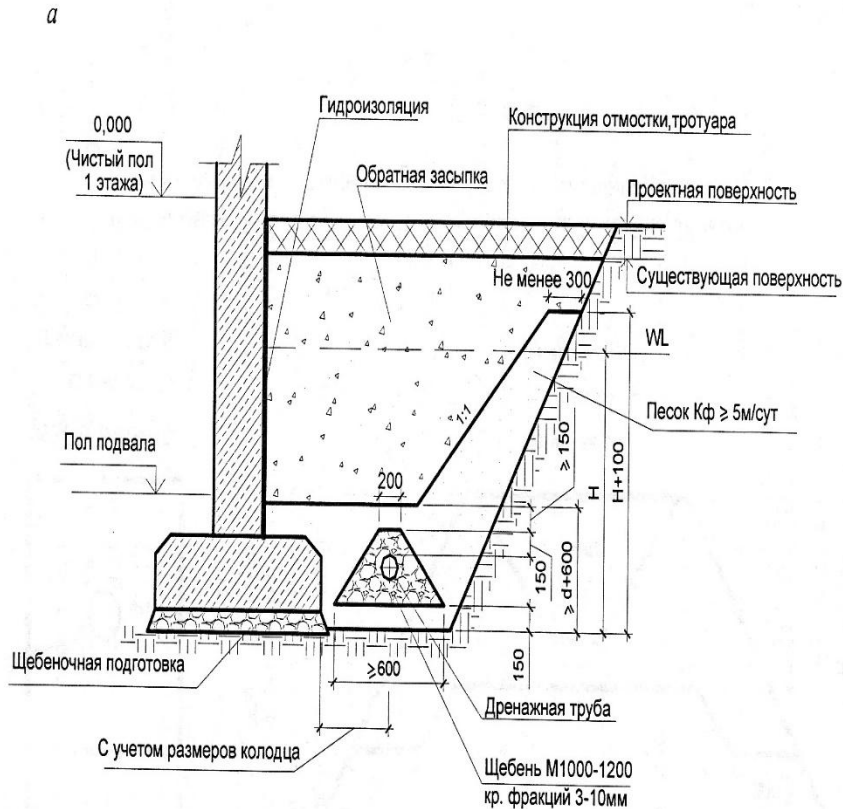


Рис. 2.7. Схемы конструкции пристенного дренажа:  
*a* – несовершенного типа

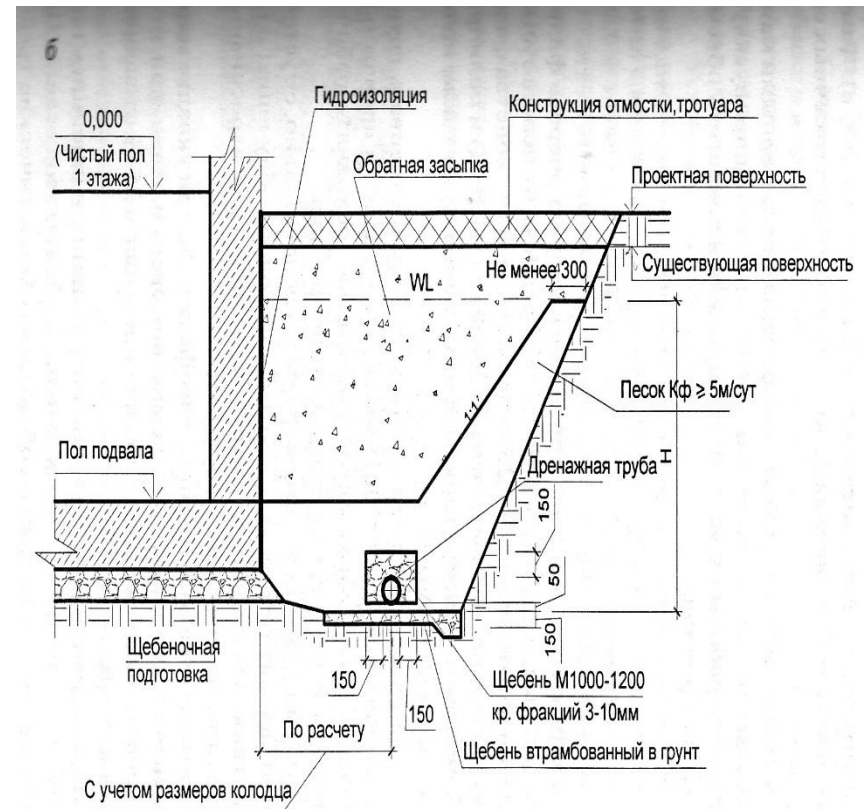


Рис. 2.7. Схемы конструкции пристенного дренажа:  
*б* – совершенного типа