

# ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

## Лекция 10

---

# Режим и баланс ПОДЗЕМНЫХ ВОД

---

Доцент кафедры  
общего землеведения и  
гидрометеорологии  
Ю.А. Гледко  
[gledko74@mail.ru](mailto:gledko74@mail.ru)

---

## План лекции

- *Режимообразующие факторы.*
  - *Классификация режима подземных вод.*
  - *Основные закономерности естественного режима подземных вод (суточный, сезонный, годовой, многолетний режим).*
  - *Особенности нарушенного режима подземных вод.*
  - *Баланс подземных вод.*
-

# Режимообразующие факторы

- **Режим подземных вод** (по М.Е. Альтовскому) – естественноисторический процесс, представляющий собой отдельные стадии формирования качественных и количественных показателей параметров подземных вод, протекающие под воздействием совокупности взаимодействующих и изменяющихся факторов: климатических, гидрологических, геологических, почвенных, биогенных и искусственных.
- Под **режимообразующими факторами** понимают природные (искусственные) *процессы*, которые определяют основные изменения (во времени) гидродинамических характеристик (напоры, скорости, расходы), физических свойств (температура) и состава (химический, газовый, бактериологический) подземных вод

## Факторы формирования режима подземных вод

Группа	Факторы	Примечание
Экзогенные	Космические	Солнечная активность, приливные силы Луны и других планет
	Метеорологические	Атмосферные осадки, температура и влажность воздуха
	Гидрологические	Режим поверхностных вод (реки, озера, моря и др.)
	Биогенные	Влияние растительности и живых организмов
	Искусственные	Влияние хозяйственной деятельности человека
	Геологические	Денудация и эрозия
Эндогенные	Геологические	Эпейрогенические колебания земной коры, тектонические движения, современный вулканизм, землетрясения

---

## Режимообразующие условия

- **Режимообразующие условия** (по В.С. Ковалевскому) - природная обстановка (геологическая структура, рельеф, строение гидрогеологического разреза, распределение емкостных и фильтрационных свойств горных пород и др.), которая существенно не меняется (в период наблюдений), определяет характер воздействия режимообразующих факторов и тем самым обуславливает особенности режима подземных вод.
-

---

## Режим подземных вод

- По характеру изучаемых (наблюдаемых) показателей различают три основных типа режима подземных вод:
  - 1) **гидродинамический режим**, характеризуемый изменениями напоров (уровней), скоростей и расходов потоков подземных вод;
  - 2) **геотермический**, характеризуемый изменением температуры подземных вод;
  - 3) **гидрогеохимический**, отражающий изменения минерализации, химического и газового состава подземных вод.
-

## Баланс подземных вод

- **Балансом подземных вод** называется соотношение притока и оттока подземных вод любого (расчетного) элемента подземной гидросферы и выражается общим уравнением вида

$$\sum_1^n (Q_j \Delta t) \pm \Delta V = 0,$$

где -  $Q_j \Delta t$  сумма приходных и расходных статей

водного баланса элемента: (+) – приток, (-) – отток подземных вод, м<sup>3</sup>/сут, км<sup>3</sup>/год и др.; -  $\Delta t$  длительность расчетного периода (сут, год и др.); -  $\Delta V$  изменение объема запасов подземных вод (м<sup>3</sup>, км<sup>3</sup>).

Приток подземных вод к рассматриваемому элементу (+) – поступление, пополнение запасов, приходные статьи водного баланса – называется **питанием подземных вод**, (-) – отток, сработка запасов, расходные статьи баланса – **разгрузкой подземных вод**.

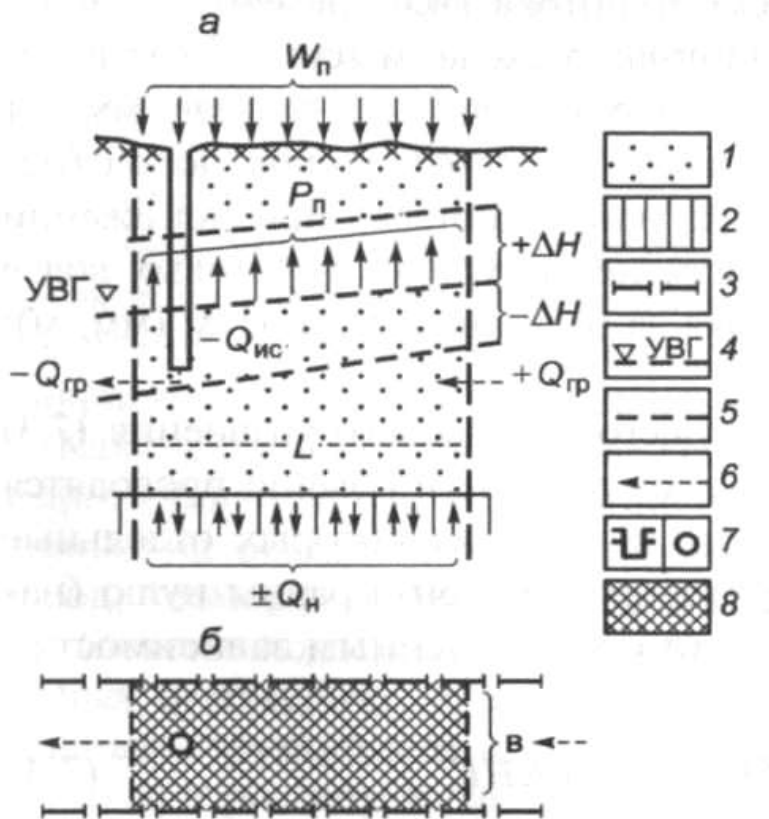
Водный баланс любого элемента (участка) грунтового водоносного горизонта может быть представлен в следующем виде:

$$W + K + Q_{\text{ПОВ}} + Q_H + W_{\text{И}} + Q_{\text{ГР}} - P_{\text{П}} - Z - Q_{\text{Н}} - P_{\text{И}} - Q_{\text{ГР}} = \mu \frac{\Delta H}{\Delta t} F,$$

- где  $W$  – инфильтрационное питание грунтовых вод,  $K$  – конденсация,  $Q_{\text{ПОВ}}$  – поглощение поверхностных вод,  $Q_H$  – приток из нижележащих водоносных горизонтов,  $W_{\text{И}}$  – искусственное питание,  $+ Q_{\text{ГР}}$  – приток грунтовых вод из смежного элемента потока,  $P_{\text{П}}$  – разгрузка грунтовых вод на поверхность,  $Z$  – разгрузка суммарным испарением,  $Q_{\text{Н}}$  – перетекание в нижележащий водоносный горизонт,  $P_{\text{И}}$  – искусственная разгрузка,  $- Q_{\text{ГР}}$  – отток грунтовых вод в смежный элемент потока (все элементы уравнения могут быть выражены в единицах расхода: м<sup>3</sup>/сут, м<sup>3</sup>/год и т.д.; или слоя воды, рассчитанного на площадь участка: мм/год, мм/сут и т.д.),  $\mu$  – гравитационная емкость водовмещающих пород (недостаток насыщения при подъеме или водоотдача при понижении уровня грунтовых вод),  $\Delta H$  – изменение уровня грунтовых вод в рассматриваемом элементе потока за расчетный период  $\Delta t$  (мм, м),  $F$  – площадь участка (м<sup>2</sup>, км<sup>2</sup>).

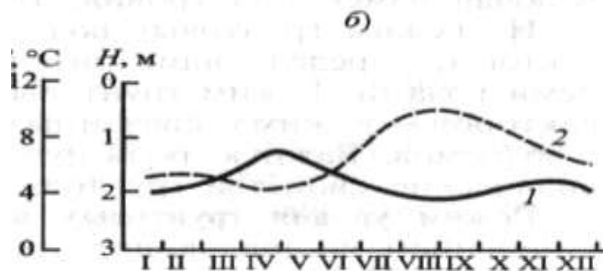
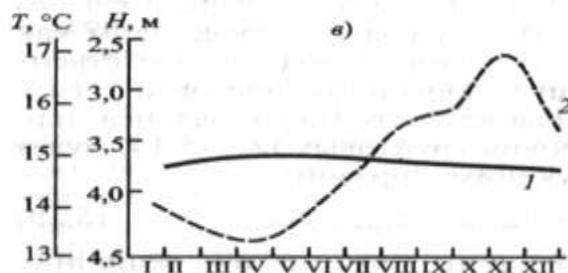
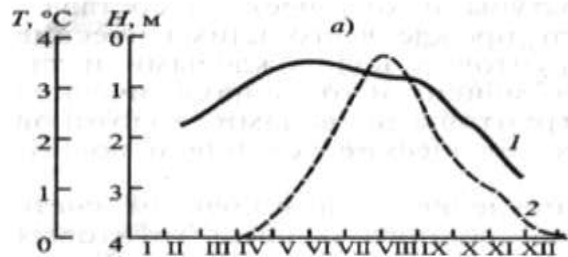


# Схема формирования водного баланса элемента грунтового водоносного горизонта



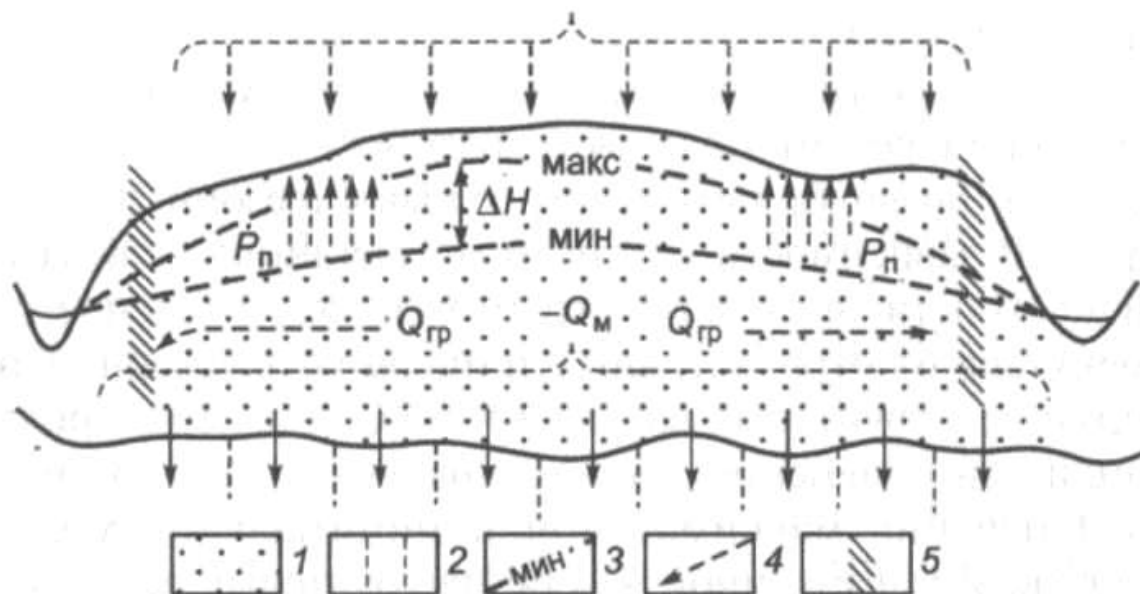
- **a** – в разрезе; **б** – в плане. **1** – проницаемые (водоносные) породы; **2** – слабопроницаемые породы (подошва горизонта); **3** – границы балансового элемента в плане (линии токов); **4** – уровень грунтовых вод на начало расчетного периода; **5** – возможное положение уровня на конец расчетного периода и соответствующая величина  $\pm\Delta H$ ; **6** – направление движения грунтовых вод; **7** – водозаборный колодец (скважина); **8** – балансовый элемент (в плане)

Типичные графики колебания уровня (глубины залегания) (1) и температуры (2) грунтовых вод (по В.С. Ковалевскому):



- провинции: а – кратковременно го питания, б – сезонного питания, в – круглогодичного питания (I—XII – месяцев)

# Схема формирования междуречного режима грунтовых вод



- 1 – проницаемые (водоносные) породы; 2 – слабопроницаемые породы; 3 – положение уровня грунтовых вод в периоды интенсивного питания (макс) и отсутствия питания (мин); 4 – направления движения грунтовых вод; 5 – примерные границы области с междуречным типом режима

## Подземный сток

- **Подземный сток** – перемещение гравитационных подземных вод в зоне полного насыщения под действием гидравлического напора или силы тяжести, происходящее в процессе круговорота влаги в природе (гидрологическая ветвь подземного круговорота воды).
- Численно подземный сток может быть охарактеризован расходом подземных вод (приток подземных вод к границам рассматриваемого элемента или отток через границы) (м<sup>3</sup>/сут, км<sup>3</sup>/год и др.), а также удельными характеристиками (**линейным, площадным, или объемным модулем подземного стока**).

# Подземный сток

$$M_L = \frac{Q}{L}, M_{\Pi} = \frac{Q}{F}, M_V = \frac{Q}{V},$$

- где  $M_L$  – линейный модуль подземного стока, характеризующий расход потока на 1 км линейной границы расчетного района (участка), л/с•км.;  $M_{\Pi}$  – площадной модуль подземного стока – расход на 1 км<sup>2</sup> площади расчетного района, л/с • км<sup>2</sup>;  $M_V$  – объемный модуль подземного стока – расход подземных вод на 1 км<sup>3</sup> рассматриваемого элемента литосферы, л/с • км<sup>3</sup>;  $L$  – длина линейной границы, км;  $F$  – площадь расчетного элемента (района), км<sup>2</sup>;  $V$  – объем элемента подземной гидросферы, км<sup>3</sup>.

# Подземный сток

- Площадная характеристика подземного стока может быть выражена также **слоем подземного стока**, представляющим собой слой воды (мм) на всю площадь рассматриваемого расчетного элемента (района) за определенный период времени. Площадной модуль и годовой слой подземного стока связаны между собой соотношением:

$$Y_{\Pi} = 31,5M_{\Pi},$$

- где  $Y_{\Pi}$  – слой подземного стока, мм/год;  $M_{\Pi}$  – площадной модуль подземного стока, л/с • км<sup>2</sup>; 31,5 – коэффициент, учитывающий размерность величин.

# Подземный сток

- Помимо величин модуля и слоя подземный сток может быть выражен также относительной характеристикой – ***коэффициентом подземного стока:***

$$K_{\Pi} = \frac{Y_{\Pi}}{x} 100\%,$$

- где  $K_{\Pi}$  – коэффициент подземного стока, равный отношению годового слоя подземного стока (мм/год) к годовой сумме атмосферных осадков (мм/год).
- Коэффициент подземного стока (по смыслу) характеризует ту часть (%) атмосферных осадков, которая расходуется на формирование подземного стока рассматриваемого района.

# Подземный сток

- Интенсивность подземного стока в любом элементе подземной гидросферы может быть охарактеризована также **сроком водообмена** и **коэффициентом водообмена** (Г.Н. Каменский). Срок водообмена рассчитывается как отношение геологических запасов подземных вод рассматриваемого элемента подземной гидросферы (объем воды –  $V_B$  м<sup>3</sup>, км<sup>3</sup>) к суммарному расходу (суммарный приток к границам расчетного элемента или суммарный отток через границы, м<sup>3</sup>/год, км<sup>3</sup>/год):

$$\tau = \frac{V_B}{Q}, \text{ год}$$

- и характеризует длительность периода (число лет), за время которого может произойти полное возобновление (полный однократный водообмен – один цикл водообмена) объема геологических запасов подземных вод рассматриваемого элемента подземной гидросферы за счет притока подземных вод к его границам.



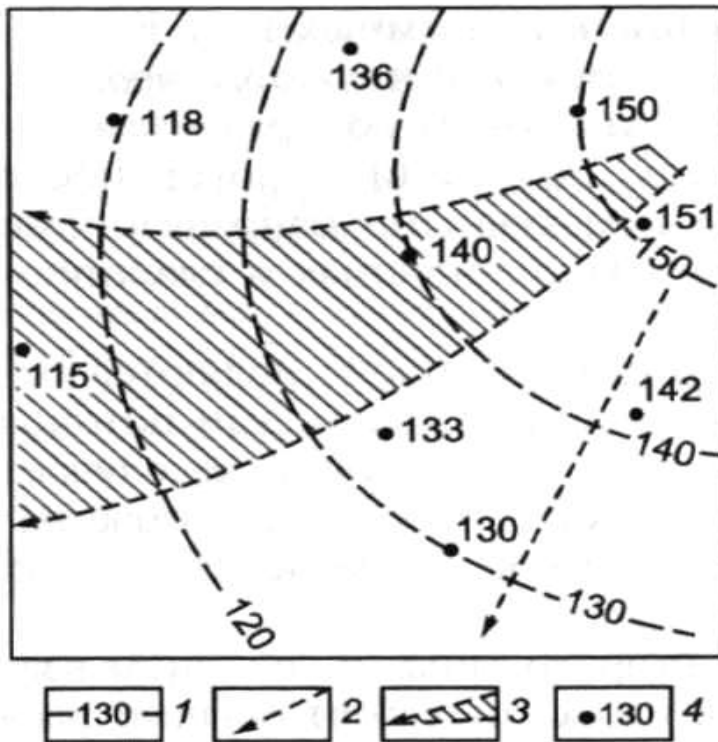
# Подземный сток

- Коэффициент водообмена выражается отношением

$$K_{\tau} = \frac{Q}{V}, \left[ \frac{1}{\text{год}} \right]$$

- и является характеристикой, которая показывает, какая часть от суммарного объема подземных вод (% , доли единицы) может возобновиться в течение года в результате суммарного притока (оттока) подземных вод к границам рассматриваемого элемента.

# Гидродинамическая сетка потока подземных вод



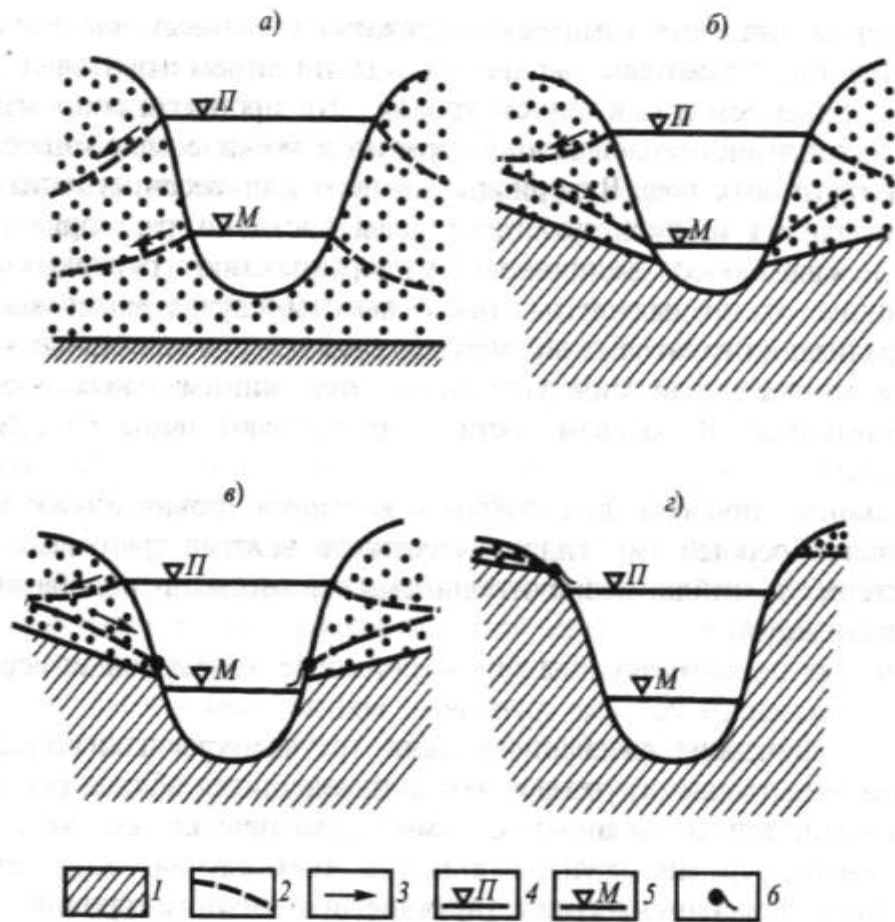
- 1 – линии равного напора; 2 – линии токов; 3 – лента тока; 4 – точки с измеренной величиной напора ( $H$ ) подземных вод

## Взаимодействие поверхностных и подземных вод

Выделяют три типа взаимодействия речных и грунтовых вод:

- *наличие постоянной гидравлической связи,*
- *наличие временной гидравлической связи*
- *отсутствие гидравлической связи.*

# Схема взаимодействия речных и грунтовых вод:



- а – постоянная односторонняя гидравлическая связь (река в течение всего года питает грунтовые воды); б – постоянная двусторонняя гидравлическая связь (река питает грунтовые воды в половодье и дренирует их в межень); в – временная гидравлическая связь; г – отсутствие гидравлической связи; 1 – водоупорный пласт; 2 – уровень грунтовых вод; 3 – направление движения грунтовых вод; 4 – уровень воды в реке в половодье; 5 – уровень воды в реке в межень; 6 – источники (родники)