

# Лекция 1

**Тема:** Общие сведения о методе водного баланса, его научном и практическом значении.  
Уравнение водного баланса общего вида и его/практическое применение

## *Литература*

### **1. Методы изучения и расчета водного баланса**

**Авторы книги// Редколлегия издания: В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн, |И. Н. Образцов, Г. А. Плиткин, А. А. Соколов (председатель)**

# Уравнения водного баланса

1. История вопроса
2. Уравнение водного баланса:

□ *Для речного бассейна* за отдельные годы

$$Q = P - E \pm S$$

где  $Q$  – речной сток;  $P$  – осадки;  $E$  – испарение;  $\pm S$  – накопление или расходование влаги в речном бассейне

□ *Для океанов и морей в целом*

$$P_{M.ок} = E_{M.ок} - Q = E_{M.ок} - V_{M.ок} + V_c = E_{M.ок} - (V_{M.ок} - V_c)$$

□ *Для всей суши*

$$P_c = E_c + Q = E_c + V_{M.ок} - V_c = E_c + (V_{M.ок} - V_c)$$

где  $P_{M.ок}$  и  $P_c$  – годовое количество осадков соответственно над Мировым океаном (океанами и морями) и над сушей;  $E_{M.ок}$  и  $E_c$  – годовое значение испарения соответственно с Мирового океана и с суши;  $Q$  — годовое количество воды, приносимой реками в океан и моря;  $V_{M.ок}$  и  $V_c$  – годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с океанов на сушу  $V_{M.ок}$  и с суши на океан  $V_c$ .

# *Современный метод расчетов водного баланса Земного шара*

□ *Для всего Земного шара*

$$P = P_{M,ок} + P_c = P_{M,ок} + P_{c,пер} + P_{c,б} = E_{M,ок} + E_{c,пер} + E_c = E_{M,ок} + E_c = E$$

□ *Для Мирового океана*  $P_{M,ок} = E_{M,ок} - Q_{c,пер}$

□ *Для периферийной части суши, имеющей сток в Мировой океан*

$$P_{c,пер} = E_{c,пер} + Q_{c,пер}$$

□ *Для замкнутых областей суши, не имеющих стока в Мировой океан*

$$P_{c,б} = E_{c,б}$$

□ *Для всей суши*  $P_c = P_{c,пер} + P_{c,б} = E_{c,пер} + E_{c,б} + Q_{c,пер} = E_c + Q_{c,пер}$

где  $P$  и  $E$  — годовые осадки и испарение с поверхности всего земного шара;  
 $P_{c,пер.}$  и  $E_{c,пер.}$  — годовые осадки и испарение с периферийной части суши (области внешнего стока, т. е. стока в Мировой океан);  $P_{c,б.}$  и  $E_{c,б.}$  — годовые осадки и испарение в пределах внутренних («бессточных») областей;  $Q_{c,пер.}$  — приток речных вод в Мировой океан (с периферийной части суши); остальные обозначения — прежние.

## *Условия применимости уравнений*

□ Эти уравнения справедливы лишь в среднем для многолетнего периода, но не для отдельных лет, так как предполагают отсутствие переходящих из года в год запасов воды на суше и в Мировом океане

□ Для отдельных лет, строго говоря, эти уравнения должны быть дополнены так называемыми «аккумуляционными» составляющими водного баланса, которые в настоящее время неизвестны и вряд ли могут быть оценены надежно из-за недостаточности исходной информации и малой точности их определения для огромных территорий суши и океана

## Уравнения водного баланса, учитывающие сток подземных вод

$$P = Q_{\text{пов}} + Q_{\text{подз}} + E$$

$$W = P - Q_{\text{пов}} = Q_{\text{подз}} + E$$

$$K_{\text{подз}} = \frac{Q_{\text{подз}}}{W}$$

$$K_{\text{исп}} = \frac{E}{W}$$

где  $P$  и  $E$  — соответственно средние годовые значения атмосферных осадков и суммарного испарения;  $Q_{\text{пов.}}$  и  $Q_{\text{подз.}}$  — поверхностная и подземная составляющие общего речного стока  $Q = Q_{\text{пов}} + Q_{\text{подз.}}$ ;  $W$  — валовое увлажнение территории;  $K_{\text{под.}}$  и  $K_{\text{исп.}}$  - соответственно «коэффициент питания рек подземными водами» и «коэффициент испарения».

## *Общие сведения о методе водного баланса*

- В основе метода водного баланса лежит учет всех приходных, расходных и аккумуляционных его элементов
- Количественный учет в общем виде основан на следующем важнейшем равенстве:

*Для любого объема пространства  $V$ , ограниченного произвольной поверхностью, разность между количествами воды, поступившей внутрь его ( $\Sigma_{\text{прих.}}$ ) и вышедшей наружу ( $\Sigma_{\text{расх.}}$ ), должна равняться увеличению (накопление, аккумуляция, прибыль) или соответственно уменьшению (расходование, сработка, убыль) количества ее ( $\Delta S$ ) внутри данного объема:*

$$\Sigma_{\text{прих}} - \Sigma_{\text{расх}} = \Delta S$$

Это равенство справедливо для любого произвольно взятого объема и для любого промежутка времени. Практически расчеты водных балансов чаще всего производятся для речных бассейнов, озер и водохранилищ.

## Виды водного баланса

- В зависимости от поставленных задач и имеющихся данных водные балансы могут быть полными (детальными) или частными (приближенными).
- *Полный водный баланс* - баланс, охватывающий все статьи прихода (осадки, приток речных и подземных вод и др.), расхода (испарение, отток воды и др.) и изменения запаса воды на поверхности и в толще изучаемого природного объекта.
- *Частный водный баланс* – это баланс, когда один или несколько (суммарно) элементов водного баланса не могут быть измерены и определяются путем расчета как остаточный член уравнения водного баланса (по разности всех других элементов, измеряемых в натуре для данного объекта).



## *Общий вид уравнения водного баланса*

□ Общий вид уравнения водного баланса за любой промежуток времени составляется для:

*- произвольно выбранной части территории суши площадью  $A$  и объемом  $V$ , ограниченной сверху поверхностью раздела суши или атмосферы, с боков — вертикальной цилиндрической поверхностью, проходящей через внешнюю границу (контур) площади  $A$ , а снизу — кровлей водоупорных пород, подстилающих водоносную толщу почво-грунтов зоны интенсивного водообмена, т. е. зоны, дренируемой гидрографической сетью, находящейся в пределах данной части территории.*

## Общий вид уравнения водного баланса (2)

□ Уравнение водного баланса для участка объемом  $V$  в общем случае может быть записано в виде

$$P + C + Q_{\text{п}} + Q_{\text{п. подз}} - (E_{\text{соб}} + Q_0 + Q_{0. \text{ подз}}) = S_2 - S_1$$

$$P = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_A p da$$

- среднее значение слоя осадков для всей площади  $A$  и за весь период времени  $T$  ( $p$  — количество осадков, выпавших в единицу времени  $\tau$  на единицу поверхности  $a$ )

$$C = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_A c da$$

- среднее значение слоя конденсации для всей площади  $A$  и за весь период времени  $T$  ( $c$  — количество воды, сконденсировавшейся в единицу времени  $\tau$  на единицу поверхности  $a$ )

среднее для площади  $A$  значение слоя воды, поступающей в ее пределы за период времени  $T$  поверхностными водотоками ( $q_{ni}$  — объем воды, приносимой в единицу времени  $\tau$  отдельным  $i$ -тым водотоком;  $n$  — число втекающих водотоков)

$$Q_{\text{п}} = \frac{1}{A} \int_T d\tau \sum_1^n q_{ni}$$

## Общий вид уравнения водного баланса (3)

$$Q_{\text{п. подз}} = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_L q_{\text{п. подз}}$$

среднее значение слоя испарения для всей площади  $A$  и за весь период времени  $T$  ( $e_{\text{соб}}$  — количество воды, испарившейся в единицу времени  $\tau$  на единицу поверхности  $a$ )

$$Q_o = \frac{1}{A} \int_T d\tau \sum_1^m q_{oi}$$

среднее для площади  $A$  значение слоя воды, поступающей в ее пределы за период времени  $T$  путем подземного притока ( $q_{\text{п. подз}}$  — объем воды, втекшей подземным путем на единицу длины периметра  $L$  в единицу времени  $\tau$ )

$$E_{\text{соб}} = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_A e_{\text{соб}} da$$

среднее для площади  $A$  значение слоя воды, поступающей за ее пределы за период времени  $T$  поверхностными водотоками ( $q_{oi}$  — объем воды, уносимой в единицу времени  $\tau$  отдельным  $i$ -тым водотоком;  $m$  — число оттекающих водотоков);

## Общий вид уравнения водного баланса (4)

$$Q_{o. \text{ подз}} = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_L q_{o. \text{ подз}}$$

среднее для площади  $A$  значение слоя воды, поступающей за ее пределы за период времени  $T$  подземным стоком ( $q_{o. \text{ подз}}$  — объем воды, вытекшей подземным путем на единицу длины периметра  $L$  в единицу времени  $\tau$ )

среднее для площади  $A$  значение слоя убыли влаги в объеме  $V$  за период времени  $T$  ( $s_1$  — значение убыли воды в единицу времени  $\tau$  на единицу поверхности  $a$ )

$$S_1 = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_A s_1 da$$

$$S_1 = \frac{1}{A} \int_T d\tau \int_A s_1 da$$

среднее для площади  $A$  значение слоя прибыли влаги в объеме  $V$  за период времени  $T$  ( $s_2$  — значение при были воды в единицу времени  $\tau$  на единицу поверхности  $a$ )

## **Общий вид уравнения водного баланса (5)**

Для практического использования уравнение удобнее записывать в виде

$$P - (E_{\text{соб}} - C) - (Q_0 - Q_{\text{п}}) - (Q_{\text{о. подз}} - Q_{\text{п. подз}}) = \Delta S$$

или, вводя обозначения

$$E = E_{\text{соб}} - C; \quad Q_{\text{м}} = Q_0 - Q_{\text{п}} \quad \text{и} \quad Q_{\text{м. подз}} = Q_{\text{о. подз}} - Q_{\text{п. подз}}$$

Получим в виде 
$$P - E - Q_{\text{м}} - Q_{\text{м. подз}} = \Delta S$$

Величина  $\Delta S$ , представляющая собой разность между прибылью  $S_2$  и убылью  $S_1$  воды в объеме  $V$  за период времени  $T$ , характеризует увеличение запаса воды в этом объеме в случае  $S_2 > S_1$  и, наоборот, уменьшение его при  $S_2 < S_1$ .

## *Общий вид уравнения водного баланса (6)*

Для территорий, в пределах которых отсутствуют водохранилища и пруды, величина  $\Delta S$  представляет собой алгебраическую сумму изменений запасов воды в сезонном снежном покрове  $\Delta S_{\text{сн.}}$ , наледях, ледниках и многолетних снежниках  $\Delta S_{\text{ледн.}}$ , в озерах  $\Delta S_{\text{оз.}}$  и болотах  $\Delta S_{\text{бол.}}$ , в русловой сети  $\Delta S_{\text{русл.}}$ , в зоне аэрации почвогрунтовой толщи  $\Delta M$ , в водоносных слоях  $\Delta G$ , дренируемых гидрографической сетью данной территории, т. е.

$$\Delta S = \Delta S_{\text{сн}} + \Delta S_{\text{ледн}} + \Delta S_{\text{оз}} + \Delta S_{\text{бол}} + \Delta S_{\text{русл}} + \Delta M + \Delta G$$

При наличии прудов и водохранилищ в величину  $\Delta S$  должно включаться также изменение запасов воды в этих прудах и водохранилищах  $\Delta S_{\text{пр. вдхр.}}$

**Спасибо за внимание!**