

## Процессы эволюции воды, связанные с растительностью

### Учёт уменьшения влагосодержания почвы из-за эвапотраспирации с не увлажнённой поверхности листьев низкой растительности

В главе, где рассматривались потоки водяного пара между подстилающей поверхностью с нижним атмосферным уровнем был определён поток водяного пара из-за возможной эвапотраспирации растительности. В данной главе определяются условия, при которых эвапотраспирация возможна, а также определяется изменение влагосодержания почвы из-за эвапотраспирации.

Эвапотраспирация возможна, если:

- 1) на всех уровнях корнеобитаемой зоны в почвы температура выше нуля;
- 2) удельная влажность воздуха насыщения при температуре подстилающей поверхности выше удельной влажности воздуха на нижнем атмосферном уровне, т.е. поток водяного пара может быть направлен вверх;
- 3) присутствует листва, т.е. листовой индекс (LAI) не нулевой;
- 4) возможен фотосинтез, т.е. поток видимой солнечной радиации не нулевой.

Поток водяного пара из-за эвапотраспирации с не увлажнённой поверхности листьев ( $Flux_{wv}$   $_{surf}^{turb}$   $_{lowveg}^{leaf\ dry}$ ) забирает из корнеобитаемой зоны почвы влагу, при этом каждый уровень корнеобитаемой зоны теряет влагосодержание пропорционально его вкладу в определение потока эвапотраспирации, а точнее в определение влажности воздуха над не увлажнённой частью листьев, которая в свою очередь определяет поток эвапотраспирации. Как показано в соответствующей главе влажность воздуха над увлажнённой частью листьев определяется соотношением:

$$q_{v\ lowveg}^{leaf\ dry} = q_{v\ atm\ 1} \cdot (1 - \alpha \cdot \beta) + q_{v\ sat}(T_{soil\ 0}) \cdot \alpha \cdot \beta,$$

где:

$q_{v\ lowveg}^{leaf\ dry}$  — удельная влажность воздуха  $\left(\frac{\kappa_2}{\kappa_2}\right)$  на поверхности испаряющего и дышащего листа,

$q_{v\ atm\ 1}$  — удельная влажность воздуха  $\left(\frac{\kappa_2}{\kappa_2}\right)$  на самом нижнем атмосферном уровне,

$q_{v\ sat}(T_{soil\ 0})$  — удельная влажность  $\left(\frac{\kappa_2}{\kappa_2}\right)$  насыщения при температуре поверхности почвы  $T_{soil\ 0}$ ,

$\alpha$  - эмпирический параметр, зависящий от коэффициента турбулентного обмена водяным паром в приповерхностном слое атмосферы и от интенсивности процесса эвапотраспирации, которая, в свою очередь, зависит от суммарного потока солнечной радиации и от листового индекса (LAI - Leaf Area Index),

$\beta$  - параметр, определяемый влагосодержанием в корнеобитаемом слое почвы  $\sum_{k=0}^{k_{root}} z_k = Z_{root}$ ,  $k_{root}$  — самый нижний уровень корнеобитаемой зоны почвы.

$$\beta = \frac{\sum_{k=0}^{k_{root}} \Delta z_k \cdot F(q_{soil\ k}^{rel})}{\sum_{k=0}^{k_{root}} \Delta z_k}, \quad F(q_{soil\ k}^{rel}) = \begin{cases} 1, & \text{если } q_{soil\ k}^{rel} \geq q_{soil\ k}^{ref} \\ \frac{q_{soil\ k}^{rel} - q_{soil\ k}^{rel\ wilt}}{q_{soil\ k}^{rel\ ref} - q_{soil\ k}^{rel\ wilt}}, & \text{если } q_{soil\ k}^{rel\ wilt} < q_{soil\ k}^{rel} < q_{soil\ k}^{rel\ ref} \\ 0, & \text{если } q_{soil\ k}^{rel} \leq q_{soil\ k}^{rel\ wilt} \end{cases}$$

где:

$q_{soil\ k}^{rel}$  — относительные влагосодержание почвы (на уровне  $k$ ),

$$q_{soil\ k}^{rel} = \frac{q_{soil\ k} - q_{soil\ k}^{min}}{q_{soil\ k}^{max} - q_{soil\ k}^{min}},$$

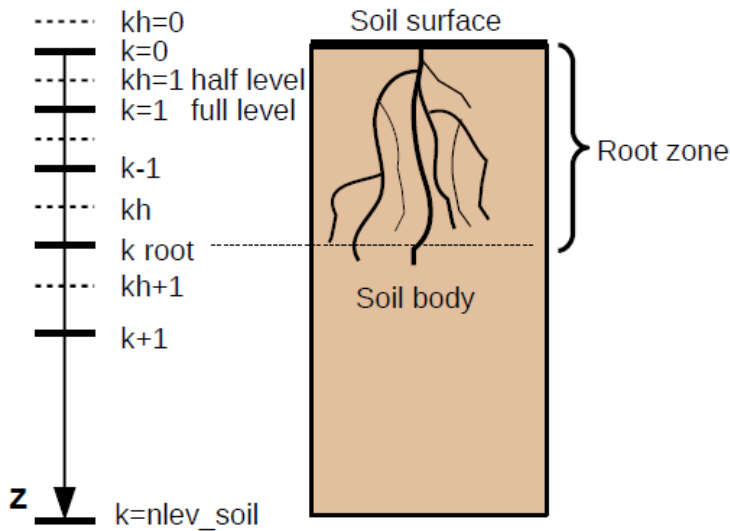
$q_{soil\ k}$  — удельной объёмное влагосодержание почвы (на уровне  $k$ )  $\left(\frac{M^3}{M^3}\right)$ ,  $q_{soil\ k}^{max}$  и  $q_{soil\ k}^{min}$  его

максимальное и минимальное значения,

$q_{soil\ k}^{rel\ wilt}$  — относительное влагосодержание почвы (на уровне  $k$ ), при котором растения завядают (перестают испарять),

$q_{soil\ k}^{rel\ ref}$  — относительное влагосодержание почвы (на уровне  $k$ ), при котором эвапотраспирация достигает наибольшей интенсивности (при дальнейшем увеличении влагосодержания эвапотраспирация не увеличивается).

Введём конечно-разностное представление:



Тогда выражение для  $\beta$  можно записать в виде:

$$\beta = \frac{\sum_{k=0}^{k_{root}} (z_{kh+1} - z_{kh}) \cdot F(q_{soil\ k}^{rel})}{\sum_{k=0}^{k_{root}} (z_{kh+1} - z_{kh})}.$$

Тогда доля (вклад) каждого из уровней корнеобитаемой зоны в поток эвапотраспирации равен:

$$F_k = \frac{(z_{kh+1} - z_{kh}) \cdot F(q_{soil\ k}^{rel})}{\beta \cdot \sum_{k=0}^{k_{root}} (z_{kh+1} - z_{kh})} \quad \text{и уменьшение влагосодержания каждого уровня из-за}$$

эвапотраспирации:

$$q_k^{\Delta t} = q_k^0 + Flux_{wv\ surf\ lowveg}^{turb\ leaf\ dry} \cdot F_k \cdot \frac{\Delta t}{\rho_w \cdot (z_{kh+1} - z_{kh})}.$$

С другой стороны, по аналогии с прогностическим уравнение динамики почвенной воды, изменение влагосодержания можно представить:

$$\frac{q_k^{\Delta t} - q_k^0}{\Delta t} = \frac{\frac{Flux_w^{lowveg\ kh+1}}{\rho_w} - \frac{Flux_w^{lowveg\ kh}}{\rho_w}}{z_{kh+1} - z_{kh}},$$

где

$Flux_{w\ kh}^{lowveg}$  — поток воды через полуцелый уровень  $kh$  из-за эвапотраспирации, который тогда равен:

$$Flux_{w\ kh}^{lowveg} = Flux_{w\ kh+1}^{lowveg} - Flux_{wv\ surf\ lowveg}^{turb\ leaf\ dry} \cdot F_k.$$

Под уровнем  $k_{root}$  (самый нижний уровень корнеобитаемой зоны) поток воды из-за эвапотраспирации равен нулю:  $Flux_{w\ kh_{root}+1}^{lowveg} = 0$ .

#### Учёт уменьшения влагосодержания почвы из-за эвапотраспирации с не увлажнённой поверхности листьев высокой (лесной) растительности

Этот процесс параметризуется точно также, как и в случае низкой растительности, используя заданные величины поток водяного пара из-за эвапотраспирации с не увлажнённой поверхности листьев лесной растительности ( $Flux_{wv\ surf\ turb\ forest\ leaf\ dry}$ ), параметр  $b$ , определённый для расчёта влажности воздуха над поверхностью не увлажнённых листьев высокой (лесной) растительности,  $F(q_{soil\ k}^{rel})$  функция от относительного влагосодержания каждого уровня корнеобитаемой зоны, определённая для эвапотраспирации лесной растительности. В итоге получаем:

$$F_k = \frac{(z_{kh+1} - z_{kh}) \cdot F(q_{soil\ k}^{rel})}{\beta \cdot \sum_{k=0}^{k_{root}} (z_{kh+1} - z_{kh})},$$

$$q_k^{\Delta t} = q_k^0 + Flux_{wv\ surf\ forest}^{turb\ leaf\ dry} \cdot F_k \cdot \frac{\Delta t}{\rho_w \cdot (z_{kh+1} - z_{kh})},$$

$$Flux_{w\ kh}^{forest} = Flux_{w\ kh+1}^{forest} - Flux_{wv\ surf\ forest}^{turb\ leaf\ dry} \cdot F_k.$$

$Flux_{w\ kh}^{forest}$  — поток воды через полуцелый уровень  $kh$  из-за эвапотраспирации/

Под уровнем  $k_{root}$  (самый нижний уровень корнеобитаемой зоны) поток воды из-за эвапотраспирации равен нулю:  $Flux_{w\ kh_{root}+1}^{forest} = 0$ .

#### Вода на листьях низкой растительности: прогноз влагосодержания и определение доли увлажнённой части листа

Содержание воды на листьях низкой растительности определяется турбулентным поток водяного пара между поверхностью листьев и нижним атмосферным уровнем, при котором может происходить испарение (возгонка) этой воды или её конденсация (сублимация), а также потоком атмосферных осадков в жидкой фазе:

$$\begin{aligned}\Delta q_{w \text{ veglow}}^1 &= Flux_{v \text{ surf lowveg}}^{turb \text{ leaf wet}} \cdot \Delta t, \\ \Delta q_{w \text{ veglow}}^2 &= Flux_{w \text{ atm lowveg}}^{liq} \cdot \Delta t, \\ q_{w \text{ veglow}}^{\Delta t} &= q_{w \text{ veglow}}^0 + \Delta q_{w \text{ veglow}}^1 + \Delta q_{w \text{ veglow}}^2 \\ q_{w \text{ veglow}}^{\Delta t} &= \max \left[ \min \left[ q_{w \text{ veglow}}^{\Delta t}, q_{w \text{ lowveg}}^{\max} \right], 0 \right],\end{aligned}$$

$q_{w \text{ lowveg}}^{\Delta t}$  и  $q_{w \text{ lowveg}}^0$  — влагосодержание листьев низкой растительности  $\left( \frac{кг}{м^2} \right)$  в конце и в начале шага по времени,

$q_{w \text{ lowveg}}^{\max}$  — максимальное значение влагосодержания листьев низкой растительности  $\left( \frac{кг}{м^2} \right)$ ,

$Flux_{v \text{ surf lowveg}}^{turb \text{ leaf wet}}$  — турбулентным поток водяного пара между увлажнённой поверхностью листьев низкой растительности и нижним атмосферным уровнем  $\left( \frac{кг}{м^2 \cdot с} \right)$ ,

$Flux_{w \text{ atm lowveg}}^{liq}$  — потоком атмосферных осадков в жидкой фазе на поверхность листьев низкой растительности  $\left( \frac{кг}{м^2 \cdot с} \right)$ ,

$\Delta t$  — величина шага по времени (с).

Доля увлажнённой части листьев определяется диагностическим соотношением:

$$F_{veglow}^{wet} = \left( \frac{q_{w \text{ veglow}}}{q_{w \text{ lowveg}}^{\max}} \right)^{2/3},$$

где степень 2/3 задаётся в соответствии с соотношением площади сечения о объёма капель сферической формы, можно заменить на 0.7 и др.

#### Вода на листьях низкой растительности: прогноз влагосодержания и определение доли увлажнённой части листа

Содержание воды на листьях высокой (лесной) растительности определяется так же, как и содержанием воды на листьях низкой растительности.:

$$\begin{aligned}\Delta q_{w \text{ forest}}^1 &= Flux_{v \text{ surf forest}}^{turb \text{ leaf wet}} \cdot \Delta t, \\ \Delta q_{w \text{ forest}}^2 &= Flux_{w \text{ atm forest}}^{liq} \cdot \Delta t, \\ q_{w \text{ forest}}^{\Delta t} &= q_{w \text{ forest}}^0 + \Delta q_{w \text{ forest}}^1 + \Delta q_{w \text{ forest}}^2 \\ q_{w \text{ forest}}^{\Delta t} &= \max \left[ \min \left[ q_{w \text{ forest}}^{\Delta t}, q_{w \text{ forest}}^{\max} \right], 0 \right],\end{aligned}$$

$q_{w \text{ forest}}^{\Delta t}$  и  $q_{w \text{ forest}}^0$  — влагосодержание листьев высокой (лесной) растительности  $\left( \frac{кг}{м^2} \right)$  в конце и в начале шага по времени,

$q_{w \text{ forest}}^{\max}$  — максимальное значение влагосодержания листьев высокой (лесной) растительности  $\left( \frac{кг}{м^2} \right)$ ,

$Flux_{v \text{ surf forest}}^{turb \text{ leaf wet}}$  — турбулентным поток водяного пара между увлажнённой поверхностью

листьев высокой (лесной) растительности и нижним атмосферным уровнем  $\left( \frac{\kappa z}{M^2 c} \right)$ ,

$Flux_{w atm forest}^{liq}$  - потоком атмосферных осадков в жидкой фазе на поверхность листьев высокой (лесной) растительности  $\left( \frac{\kappa z}{M^2 c} \right)$ ,

$\Delta t$  — величина шага по времени (с) .

Доля увлажнённой части листьев определяется диагностическим соотношением:

$$F_{forest}^{wet} = \left( \frac{q_{w forest}}{q_{max}} \right)^{2/3} .$$