

Лекция 10

Тема: Методы определения испарения,
основанные на определении потоков пара
в атмосфере

Методы определения испарения, основанные на определении потоков пара в атмосфере

□ В основу этих методов, положены следующие уравнения:

1) теплового баланса деятельной поверхности

$$R_{\text{бал}} = LE + H_a + B,$$

$R_{\text{бал}}$ - радиационный баланс

LE – испарение с суши

H_a - турбулентный теплообмен с атмосферой

B - поток тепла в почву

L - скрытая теплота парообразования

Методы определения испарения, основанные на определении потоков пара в атмосфере (2)

2). Турбулентного переноса тепла H_a и влаги E в атмосфере:

$$H_a = -\rho_{\text{возд}} C_{\text{возд}} K_T \frac{\partial T}{\partial z}$$

$$E = -\rho_{\text{возд}} K_E \frac{\partial q}{\partial z}$$

$\rho_{\text{возд}}$ и $C_{\text{возд}}$ - плотность и удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении

T, q - температура и удельная влажность воздуха

K_m, K_e - коэффициенты турбулентности для переноса тепла и влаги

z - вертикальная координата

Методы определения испарения, основанные на определении потоков пара в атмосфере (3)

□ Уравнения справедливы,

- во-первых, при отсутствии вертикальных конвективных потоков воздуха, которые возникают в условиях значительного перегрева поверхности (сильно неустойчивая стратификация атмосферы)
- во-вторых, при условии отсутствия горизонтального тепло- и влагообмена (адвекции), т. е.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

x - направление вдоль профиля ветра

в третьих, отсутствия изменения температуры и влажности воздуха (режим квазистационарности), т. е.:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial q}{\partial \tau} \approx 0$$

τ – время

Методы определения испарения, основанные на определении потоков пара в атмосфере (4)

□ в-четвертых, при условии, что потоки тепла и влаги постоянны

$$\frac{\partial H_a}{\partial z} = \frac{\partial E}{\partial z} = 0$$

□ При отсутствии адвекции (перемещение воздуха в горизонтальном направлении) это условие равносильно тому, что изменение тепло- и влагосодержания равно нулю

□ Для определения коэффициентов турбулентности (K_u) обычно используется уравнение вертикального переноса количества движения (или кинетической энергии потока, отнесенной к единице объема τ_{xz})

$$\tau_{xz} = -\rho_{\text{возд}} K_u \frac{du}{dz}$$

τ_{xz} - кинетической энергии потока, отнесенной к единице объема

K_u - коэффициент турбулентности для потока количества движения,

u - скорость ветра

Методы определения испарения, основанные на определении потоков пара в атмосфере (3)

□ Согласно полуэмпирической теории турбулентности для равновесной стратификации атмосферы, должно выполняться равенство

$$\sqrt{\frac{\tau_{xz}}{\rho}} = -\kappa z \frac{du}{dz}$$

κ - Кармана, обычно принимаемая равной 0,38

z - высота

Решая совместно два последних уравнения, получаем

$$K_{\text{иравн}} = \kappa^2 \frac{u_2 - u_1}{\ln \frac{z_2}{z_1}}$$

$K_{\text{иравн}}$ - коэффициент турбулентности при равновесных условиях в атмосфере

u_1 и u_2 - скорость ветра, измеренная соответственно на высотах z_1 и z_2

Методы определения испарения, основанные на уравнениях связи

- В основу построения уравнений положена связь годовых сумм испарения E от количества выпадающих осадков P .
- Впервые уравнение связи было получено Шрайбером в начале XX в.

$$E = P [1 - \exp(-E_0/P)]$$

E , P , E_0 - годовая норма соответственно испарения, осадков, испаряемости

- Независимо от Шрайбера аналогичное уравнение было получено Э. М. Ольдекопом

$$E = E_0 \cdot \operatorname{th} \frac{P}{E_0}$$

$\operatorname{th} = (e^{2x} - 1)/(e^{2x} + 1)$ – гиперболический тангенс

Методы определения испарения, основанные на уравнениях связи

□ М.И.Будыко установил, что в наилучшее согласие с действительным испарением достигается при использовании уравнения

$$E = \sqrt{E_0 \cdot \operatorname{th} \frac{P}{E_0} P [1 - \exp(-E_0/P)]}$$

Будыко показал, что принимать в качестве испаряемости испарение с водной поверхности не совсем корректно, так как вследствие более высокой шероховатости поверхности суши испарение с нее может быть больше испарения с воды. Для оценки испаряемости он предложил использовать уравнение

$$E_0 = R_0/L$$

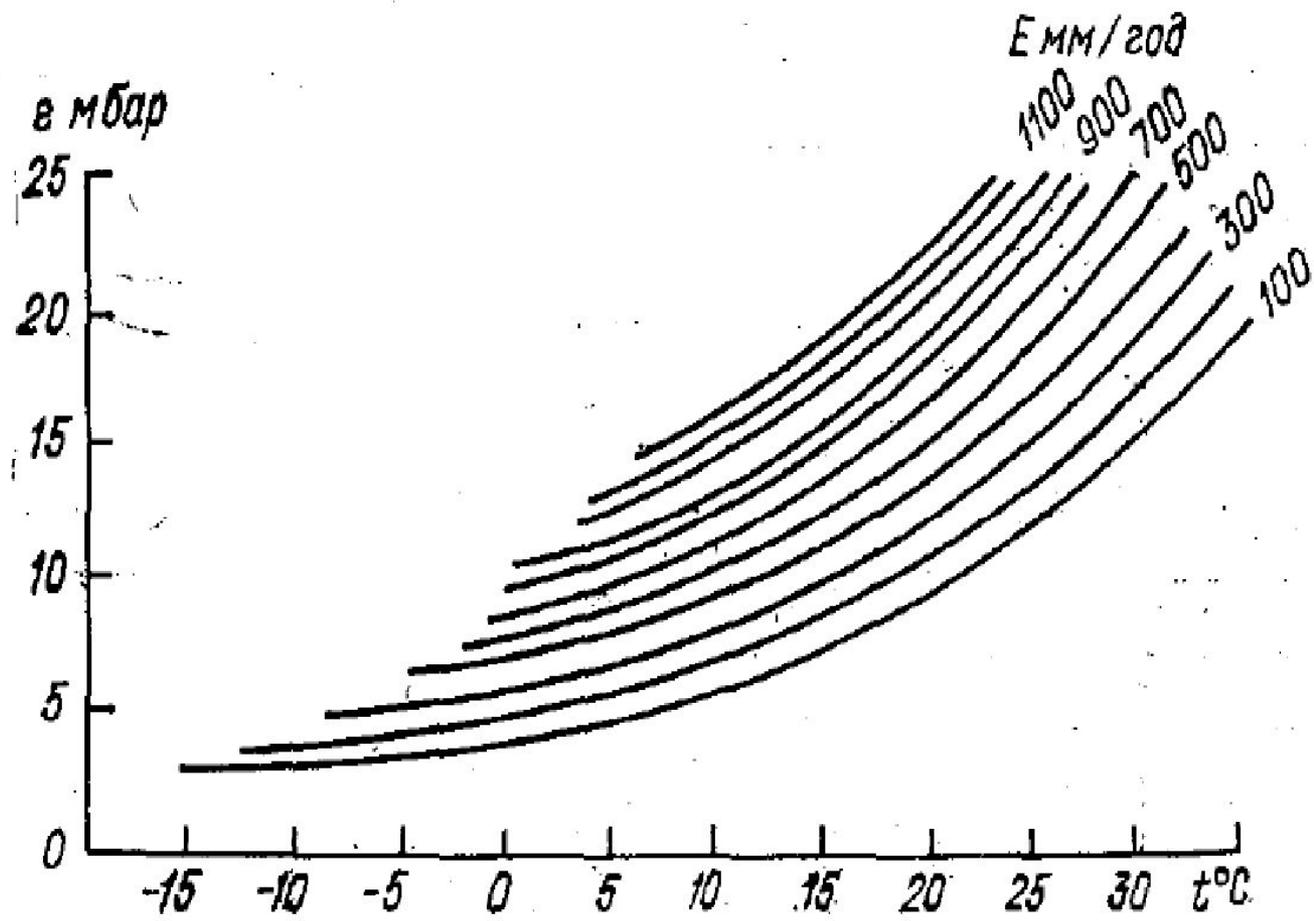
R_0 - радиационный баланс увлажненной поверхности

L - скрытая теплота испарения

Полуэмпирические методы расчета испарения

- Эта большая группа методов включает методы, основанные на установлении связей между испарением и отдельными метеорологическими элементами: температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, осадками и т. п.
- Из этой группы можно отметить методы Б. И. Полякова, П. С. Кузина, Р. Майера и др.
- В настоящее время из методов этой группы широкое распространение в бывшем СССР получил метод А. Р. Константинова. В его основе лежит выявленная им зависимость вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха от смещенных во времени значений этих элементов
- Используя уравнения турбулентной диффузии и обширный экспериментальный материал, Константинов получил графические зависимости испарения от исправленных значений температуры и влажности воздуха, а также разработал расчетные таблицы поправок к последним.

График для расчета годовых значений испарения (мм/год) с почвы по средним годовым значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на высоте 2,0 м



Методы определения испарения с леса

□ Суммарное испарение с леса может определяться методами водного баланса, теплового баланса и турбулентной диффузии

□ Использовать метод водного баланса целесообразно применять его для хорошо изученных замкнутых речных водосборов

□ Для участков водосбора, где грунтовые воды залегают сравнительно глубоко (более 10 м) можно использовать уравнение

$$E = P - Q_{нов} - \Delta S_{сн} - \Delta S_{пон} - \Delta M - Q_{инф}$$

P – осадки

$Q_{нов}$ - поверхностный сток

$\Delta S_{сн}$ – изменение запасов воды в снежном покрове (включая ледяную корку) на поверхности почвы

$\Delta S_{пон}$ - изменение запасов воды в понижениях поверхности водосбора (временные скопления воды в бессточных понижениях)

ΔM - изменение влагозапасов в верхнем слое почвогрунтов

$Q_{инф}$ - количество просочившейся воды из верхней активной зоны аэрации в нижележащие слои грунта (или до уровня грунтовых вод)

Определение испарения с леса

□ В теплые периоды года, когда осадки, кроме задержанных пологом леса, расходуются только на испарение, пополнение запасов влаги в верхнем слое почвогрунтов и на поверхностный сток, формула для вычисления суммарного испарения с леса имеет вид

$$E = P - Q_{нов} - \Delta M$$

□ При отсутствии поверхностного стока указанная формула еще более упрощается:

$$E = P - Q_{нов}$$

Косвенный метод определения испарения (1)

□ Косвенный метод определения суммарного испарения с леса основан на количественной оценке отдельных его составляющих:

$$E_2 = P - P_1 - P_3 = P_2$$

P – количество осадков, выпадающих на полог леса

P_1 – количество осадков, измеренных под пологом леса

P_2 - количество осадков, задержанных пологом леса

P_3 – количество осадков, стекающих по стволам деревьев

Косвенный метод определения испарения (2)

- Осадки, выпадающие на полог леса P , измеряются по осадкомерами
- Для учета осадков под пологом леса устанавливается от 15 до 20 осадкомеров. Размещены они могут быть либо по принципу случайного их распределения, либо на основании выбора «модельных» деревьев
- Транспирация E_3 древесной растительности определяется различными методами. Наиболее распространенными из них являются методы водного баланса и весовой
- Определение транспирации производится по формуле

$$E = P_1 + P_3 - Q_{нов} - E_1 \pm \Delta G \pm \Delta M$$

ΔG - изменение запасов подземных вод

Остальные обозначения - прежние

- Количественная оценка транспирации весовым методом заключается в определении ее по изменению массы веток с листьями или хвоей, взвешиваемых на весах немедленно после срезания их с дерева.

Другие методы определения испарения с леса

- При методе теплового баланса в условиях леса нужно проводить измерения радиационного баланса и градиентные измерения на метеорологических мачтах так, чтобы первичные преобразователи (датчики) измерительной аппаратуры были расположены над лесом.
- В связи с большими трудностями организации непосредственных наблюдений для определения суммарного испарения с леса приходится пользоваться косвенными методами его расчета как для многолетнего периода, так и для отдельных лет
- Среднее годовое (многолетнее) испарение с территорий, покрытых лесом, можно определять по специальным картам

Спасибо за внимание!