

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ МОЛОДЁЖИ
И СПОРТА УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра гидрологии суши

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ С
ОСНОВАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»
РАЗДЕЛ

«ВОДНОБАЛАНСОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Е.Л. БОЯРИНЦЕВ

Введение

Над земной поверхностью в целом и над её частями – океаном, сушей, или их отдельными участками, благодаря деятельности Солнца и воздействию других факторов, происходит непрерывная циркуляция воздушных масс, обладающих различными физическими свойствами – плотностью, температурой, влажностью и т. п. Циркуляция воздушных масс обуславливает влагооборот между акваторией океана и материками вообще, и между отдельными участками океана в частности. Влагооборот может быть мировым – в целом для всей поверхности земного шара, местным океаническим – для всей поверхности океана или её части, местным внутриматериковым – для всей поверхности суши или какого – либо её участка. Каждая из этих категорий влагооборота характеризуется своей структурой водного баланса, выражаемого равенством нулю алгебраической суммы приходных и расходных элементов. Разная структура водного баланса обусловлена неравномерностью прогревания Солнцем различных участков земной поверхности, большими различиями циркуляционных процессов атмосфере над ними, а также другими факторами, формирующими значительную неравномерность количества выпадающих осадков, их испарения и стока.

Исследования и расчёты по водному балансу имеют огромное значение, так как наличие воды является одним из главных факторов, влияющих на развитие промышленности, сельского хозяйства и транспорта, расселение людей и их хозяйственную деятельность. Роль водного фактора в экономическом и социальном развитии человеческого общества непрерывно повышается, поскольку из года в год потребление воды всё увеличивается. Водные ресурсы выступают как важный фактор в планировании, развитии и размещении различных отраслей хозяйствования и при проектировании экологических мероприятий.

1. Уравнение водного баланса

Равенство приходной и расходной частей водного баланса участка деятельной земной поверхности, и в частности речного водосбора, является проявлением закона сохранения и превращения энергии применительно к процессу влагообмена между этой поверхностью и атмосферой за какой – либо расчётный промежуток времени.

На обобщённой схеме влагообмена на уровне земной поверхности (рис.1.1) показаны элементы водного баланса в некотором аэрированном расчётном слое почвы, в аэрированном слое почвогрунта между уровнем грунтовых вод и поверхностью слоя, а также в насыщенном влагой слое почвогрунта.

На основании приведённой схемы можно составить частные уравнения водного баланса:

- для поверхности земли-

$$k_1X + Y_1 + A_1 + C = Z + Y_2 + A_2, \quad (1.1)$$

- для расчётного слоя почвы (h_p)-

$$A_2 + G_1 + W_1 + U_1 = A_1 + G_2 + W_2 + U_2 \quad (1.2)$$

- для слоя почвогрунта ($h_{ог} - h_p$)-

$$k_1X + Y_1 + A_1 + C = Z + Y_2 + A_2 \quad (1.3)$$

- для слоя почвогрунта, насыщенного влагой-

$$P_1 + D_1 = P_2 + D_1. \quad (1.4)$$

Уравнение водного баланса участка суши для всего слоя водообмена от поверхности земли до водоупора представляется в общем виде:

$$k_1X + C + (W_1 - W_2) + (Q_1 - Q_2) = Z + (Y_2 - Y_1) + (G_2 - G_1) + (S_2 - S_1) + (P_2 - P_1) \quad (1.5)$$

Очевидно, что величина

$$Y = (Y_2 - Y_1) + (G_2 - G_1) + (S_1 - S_2) + (P_2 - P_1) \quad (1.6)$$

есть суммарный сток с участка суши.

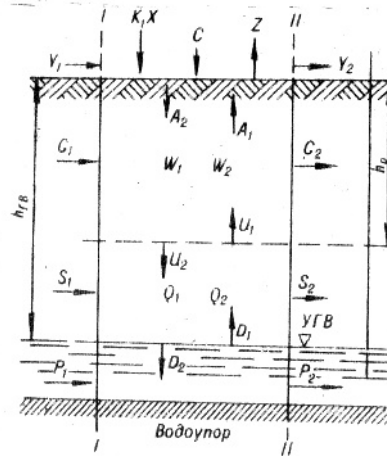


Рис. 1.1. Обобщённая схема водообмена.

Обозначения: h_p - аэрированный расчётный слой почвы; $(h_{ГВ} - h_p)$ - аэрированный слой почвогрунта между уровнем грунтовых вод и поверхность слоя, а также в насыщенном слое грунта; K_1X - сумма атмосферных осадков, исправленных на недоучёт; C - конденсация водяных паров воздуха, не учитываемая осадкомерными приборами (роса, иней, морось); Z - суммарное испарение; Y_1 и Y_2 - приток и отток поверхностных вод; G_1 и G_2 - приток и отток почвенной влаги в расчётном слое h_p ; S_1 и S_2 - приток и отток почвенной влаги в слое $(h_{ГВ} - h_p)$; P_1 и P_2 - приток и отток грунтовых вод; W_1 и W_2 - влагозапасы в расчётном слое почвы на начало и конец расчётного промежутка времени; Q_1 и Q_2 - влагозапасы в слое $h_{ГВ} - h_p$ на начало и конец расчётного промежутка времени; A_1 и A_2 - влагообмен между почвой и воздухом на уровне дневной поверхности; U_1 и U_2 водообмен между слоями h_p и $h_{ГВ} - h_p$; D_1 и D_2 - водообмен между слоем аэрации и слоем, насыщенным грунтовой водой. Размерность в миллиметрах слоя воды.

Однако, во многих случаях почвенный сток не наблюдается, или его величина незначительна. Поэтому без ощутимой погрешности, часто совсем без погрешности, может быть $(G_2 - G_1) + (S_2 - S_1) = 0$, и тогда вместо уравнения (1.5), получается

$$K_1X + C + (W_1 - W_2) + (Q_1 - Q_2) = Z + (Y_1 - Y_2) + (P_2 - P_1). \quad (1.7)$$

Учитывая, что в данном случае величина

$$Y = (Y_2 - Y_1) + (P_2 - P_1) \quad (1.8)$$

есть сумма поверхностного и грунтового стока, уравнение (1.7) можно записать в виде:

$$K_1X + C + (W_1 - W)_2 + (Q_1 - Q_2) = Z + Y. \quad (1.9)$$

Поскольку количество влаги от конденсации паров воздуха по сравнению с измеряемыми атмосферными осадками в большинстве случаев незначительно, то можно записать, что

$$KX = K_1X + C. \quad (1.10)$$

Тогда уравнение (1.9) представится в виде:

$$KX + (W_1 - W_2) + (Q_1 - Q_2) = Z + Y. \quad (1.11)$$

В случае, когда наблюдается равенство $h = h_{26}$, или ниже расчётного слоя почвы влагозапасы практически не меняются, что имеет место при глубоком залегании грунтовых вод, то есть когда $Q_1 - Q_2 = 0$, вместо уравнения (1.11) получим:

$$KX + (W_1 - W_2) = Z + Y \quad (1.12)$$

При близком залегании грунтовых вод часто можно наблюдать явления их подпора. Приток грунтовых вод из внешней области питания на рассматриваемый участок суши настолько обильный, что он не успевает весь транзитом стечь за его пределы. При этом поднимается уровень грунтовых вод, подпирая капиллярную зону, иногда до поверхности. Вследствие этого часть грунтовых вод расходуется на процесс суммарного испарения, а при выклинивании их на дневную поверхность – и на поверхностный сток.

В данном случае атмосферные осадки расходуются только на суммарное испарение и поверхностный сток. Грунтовый же сток представлен лишь транзитным потоком P_2 меньшим, чем P_1 .

Уравнение водного баланса в данном случае примет вид:

$$KX + (W_1 - W_2) + (P_1 - P_2) = Z + Y \quad (1.13)$$

Подобное явление часто наблюдается в горных и предгорных условиях, на конусах выноса, осыпях, курумах и в зонах разгрузки грунтовых вод, не говоря уже о зонах разгрузки глубоких подземных вод.

Во всех формах уравнения водного баланса участка суши в левой части его сосредоточены приходные элементы, в сумме составляющие водные ресурсы данного участка, в правой части уравнения неизменно представлены две расходные статьи – суммарное испарение и суммарный сток. Обозначая водные ресурсы или суммарное увлажнение величиной H , уравнение водного баланса кратко можно записать в общем виде:

$$H = Z + Y. \quad (1.14)$$

Теоретическими пределами изменения величины стока является $0 \leq Y \leq H$. Нижним пределом суммарного испарения является нуль. Верхний же предел величины Z из уравнения водного баланса (1.14) не очевиден. Можно лишь сказать, что низкой влагообеспеченности, но высокой теплообеспеченности верхним пределом суммарного испарения является количество атмосферных осадков. В условиях высокого увлажнения верхний предел суммарного испарения ограничен ресурсами тепла.

При решении вопросов гидромелиораций уравнение водного баланса примет вид:

- при расчётах на орошение - $H + M_1 = Z' + Y'$. (1.15)

- при расчётах на осушение - $H - M_2 = Z'' + Y''$, (1.16)

- или $H = Z'' + (Y'' + M_2)$. (1.17)

В уравнении (1.15) M_1 - оросительная норма, в уравнении (1.17) M_2 - осушительная норма.

Если при орошении применяется оптимальная норма (M_0), расход воды на испарение и сток также будет оптимальным и уравнение водного баланса примет вид:

$$H_0 = H + M_0 = Z_0 + Y_0 \quad (1.18)$$

При рассмотрении водного баланса речного водосбора величины Y_1 , G_1 , S_1 и P_1 порознь и в сумме становятся практически равными нулю, поэтому равенство (1.6) значительно упрощается (1.11 – 1.14).

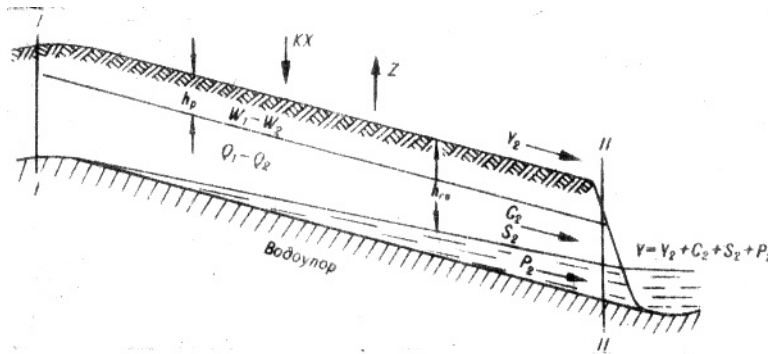


Рис. 1.2. Элементы уравнения водного баланса для речного водосбора.

Очевидно, что при решении задачи определения водного баланса среднего многолетнего года в целом в этих уравнениях выполняются условия:

$$W_1 - W_2 = 0 \text{ и } Q_1 - Q_2 = 0. \quad (1.19)$$

Тогда вместо уравнений (1.11) и (1.13)

$$KX = Z + X \quad (1.20)$$

при глубоком залегании грунтовых вод и

$$KX + (P_1 - P_2) = Z + Y \quad (1.21)$$

при уровне грунтовых вод, вытесняющем капиллярную зону в верхний слой активного водообмена почвы. В последнем случае подпитывание процессов суммарного испарения и стока составит величину

$$P_1 - P_2 = Z + Y - KX \quad (1.22)$$

2. Уравнение теплоэнергетического баланса

В уравнении водного баланса содержится такой элемент процесса влагообмена, как суммарное испарение, интенсивность которого непосредственно зависит от теплоэнергетических ресурсов климата. Это обуславливает необходимость рассматривать задачу определения водного

баланса совместно с теплоэнергетическим балансом земной поверхности, процесс влагообмена её с атмосферой в единстве с процессом теплообмена.

Процесс теплообмена в любой точке пространства и за любой промежуток времени характеризуется балансом статей прихода и расхода энергии, иначе говоря, законом сохранения энергии при её изменениях и превращениях. Закон сохранения энергии в процессе теплообмена между земной поверхностью и воздухом в соответствии с приведённой схемой (рис. 1.3) записывается в виде:

$$R^+ - P^+ + (B_1 - B_2) = LZ + P^- + J_H - LC, \quad (1.23)$$

где L - скрытая теплота испарения воды. Уравнение (1.23) значительно упрощается, если принять следующие обозначения:

$$\text{теплоэнергетическиересурсы } LZ_{\text{МАКС}} = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2), \quad (1.24)$$

$$\text{суммарный теплообмен } T = P^- + J_H - LC. \quad (1.25)$$

$$\text{Тогда оно принимает вид: } LZ_{\text{макс}} = LZ + T \quad (1.26)$$

Величина $Z_{\text{макс}}$ является эквивалентом теплоэнергетических ресурсов процесса теплообмена, выражаемый слоем воды, который мог бы испариться при расходе на процесс испарения всех тепловых ресурсов. Величина T представляет собой суммарный теплообмен, обусловленный нагреванием приземного слоя воздуха и ночным эффективным излучением земной поверхности, частично компенсируемым противоизлучением атмосферы и теплом конденсации водяных паров воздуха на охлаждённых элементах земной поверхности. В уравнении (1.26) величины LZ и T характеризуются теоретическими пределами изменения:

$$LT_{\text{МАКС}} \geq LZ \geq 0 \text{ и } LZ_{\text{МАКС}} \geq T > 0. \quad (1.27)$$

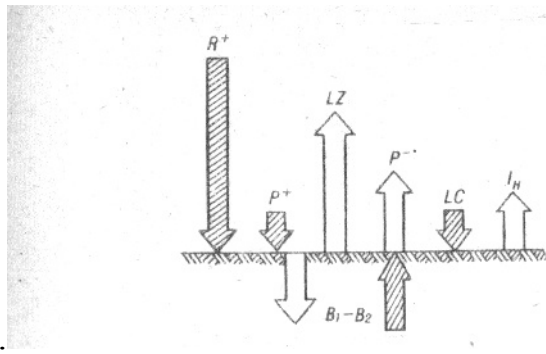


Рис. 1.3. Обобщённая схема теплообмена

Здесь : R^+ - радиационный баланс- разность между поглощённой коротковолновой (прямой и рассеянной) радиацией солнца и балансом длинноволнового излучения (излучения земной поверхности за вычетом противоизлучения атмосферы) в дневные часы суток; P^+ - положительная составляющая турбулентного теплообмена – тепло, приходящее на участок суши в связи с движением воздуха – адвективное тепло; B_1 и B_2 - изменение запасов тепла в деятельном слое почвогрунта – теплообмен в почве; LZ - расход тепла на суммарное испарение; P^- - расход тепла на нагревание воздуха – турбулентный теплообмен; J_n - длинноволновое (эффективное) излучение земной поверхности в ночные часы суток; LC - тепло конденсации водяных паров воздуха на элементах земной поверхности.

Возвращаясь к уравнению водного баланса в общем виде (1.14), можно увидеть, что теоретическими пределами изменения его элементов являются:

$$\begin{aligned} 1) Z \rightarrow 0 \quad \text{и} \quad Y \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad H \rightarrow 0 \\ 2) Z \rightarrow Z_{\text{макс}} \quad \text{и} \quad Y \rightarrow \infty \quad \text{при} \quad H \rightarrow \infty \end{aligned} \quad (1.28)$$

В первом случае суммарное испарение ограничено ресурсами увлажнения деятельной земной поверхности, во втором случае – теплоэнергетическими ресурсами климата. Энергетический предел суммарного испарения – величину $Z_{\text{макс}}$ принято называть максимально возможным испарением. В действительности из-за известной неидеальности радиационных и теплофизических свойств испаряющих поверхностей, в том числе водной, всегда наблюдается некоторый расход тепла на турбулентный теплообмен и эффективное излучение, то есть в действительности всегда выполняется неравенство

$$T \rightarrow T_{\min} > 0 \quad (1.29)$$

Так, для процесса тепловлагообмена водной поверхности и воздуха уравнение теплоэнергетического баланса имеет вид:

$$LZ_{\text{МАКС.В}} = LZ_{\text{В}} + T_{\text{В}} \quad (1.30)$$

Сообразуясь с неравенством (1.29), из (1.30) можно найти

$$Z_{\text{МАКС.В}} > Z_{\text{В}}, \quad (1.31)$$

то есть эквивалент теплоэнергетических ресурсов над водной поверхностью всегда больше так называемой испаряемости с неё. В этой связи величину относительного суммарного испарения

$$\beta_z = 1 - \frac{T}{LZ_{\text{МАКС}}} = \frac{Z}{Z_{\text{МАКС}}} < 1 \quad (1.32)$$

можно уподобить коэффициенту полезного действия машины, который даже у самой совершенной никогда не достигает единицы.

1.1 Водный баланс активного слоя почвы

Совокупность всех величин прихода влаги активного (корнеобитаемого) слоя почвы и расход из него называют водным балансом этого слоя почвы. Водный баланс можно составить на любой отрезок времени: календарный год, отдельные сезоны, за период вегитации и др.

Полный водный баланс почвы можно представить уравнением

$$(W_1 - W_2) = (X + S_1 + Y_1 + G_1 + C) - (Z + T + S_2 + Y_2 + G_2) \quad (1.33)$$

Все эти величины относятся к одному и тому же промежутку времени. Для некоторых величин, входящих в полное уравнение водного баланса, не всегда имеются надёжные данные. Прежде всего это величины внутрипочвенного притока и оттока. Но во многих случаях без большой погрешности внутрипочвенный сток и отток можно исключить, как более или менее компенсирующие друг друга. Из уравнения (2.15) можно исключить величину конденсации парообразной атмосферной влаги в почве вследствие неизученности этого процесса. Есть основания утверждать, что это явление не

имеет существенного значения для водного баланса почв, особенно глинистого и суглинистого механического состава.

В практике расчётов, проводимых для сельскохозяйственных полей, часто используют упрощённую формулу водного баланса:

$$Y_n = W_2 - (W_1 + X) \quad (1.34)$$

3. Водный баланс речных водосборов

3.1 Организация и проведение комплексных наблюдений на воднобалансовых станциях

Материалы многолетних наблюдений опорных станций и постов дают надёжную основу для расчёта стока. Однако материалы этих наблюдений относятся к большим и средним рекам и не дают возможности решать вопросы использования малых водотоков.

С целью изучения водного баланса малых водосборов организуют воднобалансовые станции, особенностью которых является комплексность наблюдений и гнетический метод исследований. Такие станции обеспечивают получение исходных данных для решения следующих задач:

- установление количественных характеристик и соотношение элементов водного баланса для водосборов и отдельных участков местности в зависимости от гидрометеорологических условий и хозяйственной деятельности человека;
- разработка и совершенствование методов наблюдений и расчёта элементов водного баланса за различные промежутки времени;
- разработка и совершенствование методов теории инфильтрации и стока талых и дождевых вод с целью уточнения методов расчёта и прогноза паводочного стока;

- исследование водопотребления и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур;
- изучение водной эрозии и установление её региональных особенностей;
- уточнение существующих представлений о возможных изменениях водного баланса и стока наносов под влиянием агротехнических, лесохозяйственных, мелиоративных и других мероприятий;

Для решения этих задач на всех воднобалансовых станциях выполняют единый комплекс наблюдений и работ, в состав которых входят:

А. наблюдения за стоком воды с водосборов (рек, ручьёв, балок и логов и со склонов (на воднобалансовых и стоковых площадках), стоком наносов и растворённых веществ;

В. метеорологические наблюдения, включая измерения элементов теплового баланса;

С. наблюдения за осадками и запасами воды в снежном покрове;

Д. наблюдения за испарением с поверхности суши, воды и снега;

Е. наблюдения за изменением запасов влаги в почвогрунтах зоны аэрации и запасов подземных вод;

Ф. наблюдения за аккумуляцией воды на поверхности водосбора (в русловой сети и болотах, озёрах, прудах, и в понижениях рельефа;

Г. наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвогрунта, состоянием поверхности водосборов и условиями формирования стока талых и дождевых вод;

Н. специальные работы (различные съёмки объектов, испытание приборов и новых методов наблюдений, проверка методов расчёта различных элементов водного баланса и др.)

Объектами наблюдений воднобалансовых станций являются репрезентативный (типичный) бассейн экспериментальные (элементарные) водосборы, стоковые и воднобалансовые площадки и участки. Деятельность станции распространяют на или часть территории репрезентативного бассейна изучаемого физико – географического района, площадь которого не превышает 1000км^2 . При выборе репрезентативного бассейна учитывают наличие длинных рядов наблюдений за стоком, осадками и другими элементами водного баланса. При выборе экспериментальных водосборов предпочтение отдают тем участкам репрезентативного бассейна, где можно организовать наблюдения на близко расположенных один от другого экспериментальных водосборах. Наблюдения организуют обычно на 5-10 водосборах, 2 – 8 стоковых площадках, и 1 – 3 воднобалансовых участках.

Размещение гидрологического оборудования на бассейне является важным этапом исследований и зависит от принятой методики наблюдений. Выбор пунктов наблюдений зависит также от сложности физико – географических условий в каждом бассейне, поэтому в качестве примера показано размещение пунктов наблюдений Колымской воднобалансовой станции (рис.3.1). Все наблюдения на воднобалансовых станциях, кроме наблюдений на метеорологической площадке, производят по местному декретному времени. Обработанные и проверенные результаты наблюдений публикуют в виде материалов наблюдений воднобалансовых станций.

3.2 Атмосферные осадки

Атмосферные осадки – один из основных элементов приходной части водного баланса водосборов. Атмосферными осадками является любой продукт конденсации атмосферного водяного пара, независимо от того, образовался он в свободной атмосфере или на поверхности земли. Различают следующие виды осадков:

- ❖ Морось – однородные осадки, состоящие из водяных капель диаметром менее 0,5мм. Морось обычно

выпадает из слоистых облаков, с интенсивностью менее 0,017мм/мин.

❖ Дождь- осадки, состоящие из капель диаметром более 0,5мм. Дожди делят на: а) обложные, продолжительностью 2-3 суток и более со средней интенсивностью выпадения осадков 1 – 2мм/час; б) ливневые, продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток со средней интенсивностью 2 – 10мм/час; в) ливни – краткие и интенсивные дожди продолжительностью не более 2 – 3 часов со средней интенсивностью 10 – 20 мм/час.

❖ Гололёд – ледяная плёнка, образующаяся при замерзании капель дождя или мороси по мере того, как они соприкасаются с холодными предметами и почвогрунтом (обычно при температуре воздуха от 0 до -3⁰С).

❖ Ледяной дождь и град – дождевые капли, падая в атмосфере, где температура ниже 0⁰С, замерзают, образуя прозрачные зёрна льда (ледяной дождь) или непрозрачные (многослойный лёд) – град.

❖ Снег – осадки в виде ледяных кристаллов.

❖ Ледяная крупа – снежные шарики диаметром до 5мм.

❖ Роса – образование жидкой влаги при концентрации паров как на поверхности почвы, так и внутри неё.

Атмосферные осадки измеряются с помощью осадкомеров Третьякова, плювиографов и почвенных дождемеров. Исследователями установлено [], что существующая методика измерения атмосферных осадков осадкомерами имеет ряд систематических погрешностей, которые необходимо исключить при использовании показателя измеренных осадков в воднобалансовых расчётах. Поэтому при расчётах водных балансов следует пользоваться величинами

осадков, исправленными введением поправок на смачивание ведра осадкомера, испарение осадков и на недоучёт их вследствие влияния ветра. Поправка на смачивание для жидких и смешанных осадков равна +0,2 мм, а для твёрдых +0,1 мм на каждый случай измерения осадков слоем 0,05 мм и более.

Поправки испарение к измеренным величинам жидких и твёрдых осадков составляет 4% измеренной суммы. Поправку на влияние ветра вводят по средним многолетним месячным коэффициентам K , указанным для каждой метеостанции в «Справочнике по климату СССР». Этот коэффициент также автоматически учитывает и поправку на испарение. Исправленная месячная величина осадков для метеостанции в этом случае будет равна:

$$X = KX_1 + \Delta X_c, \quad (3.1)$$

где X_1 - измеренная сумма осадков, ΔX_c - величина поправки на смачивание.

При расчётах водных балансов для зимнее – весеннего периода большое значение приобретают измерения твёрдых осадков, аккумулированных на водосборе в виде снежного покрова. Среднюю по водосбору величину запасов воды, аккумулированную на поверхности водосбора в виде снежного покрова, и её изменения ΔV_s устанавливают путём определения средней взвешенной величины снегозапасов по материалам снегомерных съёмок, по разности снегозапасов на конец (V_{S_K}) и начало (V_{S_H}) месяца

$$\Delta V_s = V_{S_K} - V_{S_H}. \quad (3.2)$$

Снегомерные съёмки систематически производят гидрометстанции на полевых и лесных маршрутах, а также в овражно- балочной сети. По каждому маршруту вычисляются средние величины высоты и плотности снега и средние запасы воды в снежном покрове.

Для расчёта средних снегозапасов водосбор разбивается на несколько частей с приблизительно одинаковой средней высотой и близким соотношением угодий, т.е. полевой и лесной частей и овражно- балочной сетью. Средние по водосбору запасы воды в снеге принимают равными средней

взвешенной их величине с учётом площадей полевой F_n и лесной F_l частей и овражно-балочной сети F_o речного бассейна. По данным измерений снегозапасов на маршрутах определяется средний запас влаги на бассейне :

$$V_s = \frac{h_n F_n + h_l F_l + h_o F_o}{F} \quad (3.2)$$

3.3 Испарение

Процесс испарения в природе наблюдается повсюду, где имеется хотя бы некоторое количество влаги и тепла. Под испарением понимают переход отдельных молекул, скорость которых оказывается достаточной для преодоления сил молекулярного притяжения, с поверхности жидкости или твёрдого тела в окружающее пространство. С повышением температуры число молекул, оторвавшихся от испаряющей поверхности и поступающих в окружающее пространство, возрастает. Превращение в пар воды, находящейся в твёрдой фазе (снег, лёд), называется возгонкой. При некоторых условиях может происходить обратный процесс – сгущение пара и превращение его в жидкую (конденсация) или твёрдую (сублимация) фазы.

Испарение является основной составляющей расходной части водного баланса. Поэтому наблюдения за испарением производят с целью водного баланса сельскохозяйственных полей, естественных угодий и водосборов двумя методами – испарения с верхнего деятельного слоя почвогрунтов – по испарителям, и расхода влаги в зону аэрации – по лизиметрам.

3.3.1. Метод испарителей

В настоящее время на сети почвенноиспарительных площадок используется почвенный испаритель ГГИ- 500. (рис. 3.2). Площадь испаряющей поверхности 500см², высота – в зависимости от условий применения прибора – 0,5 и 1,0 м. Дно испарителя съёмное с отверстиями, через которые вода, просочившаяся через толщу монолита, стекает в водосборный сосуд. Испаритель взвешивается один раз в пять дней с точностью до 10 г, что в переводе на слой воды составляет 0,2 г.

Испаритель ГГИ-500-50 рекомендуется для измерения испарения в зонах достаточного и избыточного увлажнения. Испаритель ГГИ-500-100 рекомендуется для суммарного испарения с различных сельскохозяйственных культур в зоне недостаточного увлажнения.

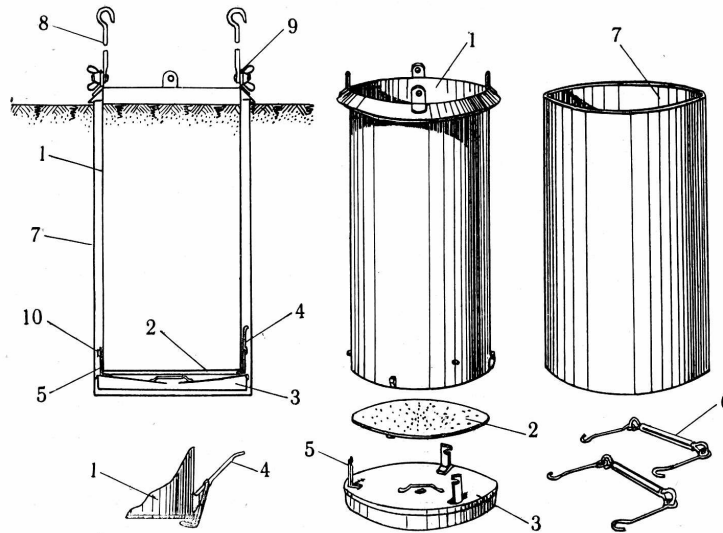


Рис. 3.1 Почвенный испаритель ГГИ-500.

1- внутренний цилиндр, 2- дно, 3- водосборный сосуд, 4 - защёлка – 5- планка с вырезом, 6 - ручки для переноса испарителя, 7 – гнездо. 8 – подъёмный крючок, 9- ушко, 10 – штифт.

Случайные ошибки измерения суммарного испарения с помощью испарителей составляет в среднем 10 – 15%. Систематические ошибки испарителей (из-за подрезания корней при пересадке и перегрева монолита в жаркую погоду) при полном соответствии состояния растений в поле и в испарителях не превышает величин случайных ошибок.

Для измерения испарения с болот используется специальный тип болотных испарителей. Важной особенностью этих приборов является возможность поддерживать уровень грунтовых вод в их монолите таким же, как и в окружающем болотном массиве. Существует два типа болотных испарителей. Испарение с поверхности испарителя площадью $0,1\text{ м}^2$ измеряют весовым способом, а с поверхности испарителя площадью $0,05\text{ м}^2$ – по расходу воды в устройстве, автоматически регулирующем уровень грунтовых вод. Испарение с поверхности снежного покрова измеряют на снегоиспарительных

площадках испарителем ГГИ- 500-6 площадью 500 см², высотой снежного монолита 6 см и другими, необходимыми для этого приборами и устройствами (весы технические, термометры срочные и др.). Наблюдения за испарением со снега начинаются осенью с даты, когда высота снежного покрова на площадке достигнет 6 см, прекращаются весной в период снеготаяния.

3.3.2. Метод лизиметров.

Лизиметр – устройство, в котором заключается элементарный участок зоны аэрации в натуральном масштабе по глубине с моделью водоносного слоя, что в отличие от испарителей, обеспечивает вертикальный водообмен в монолите.

Метод лизиметров пригоден для изучения суммарного испарения, расхода грунтовых вод в зону аэрации, пополнения запаса грунтовых вод за счёт инфильтрации в случае неглубокого залегания уровня грунтовых вод, когда деятельный слой поверхности находится под воздействием капиллярной зоны, образуемой грунтовыми водами. Подобные условия встречаются в районах избыточного увлажнения, в зоне многолетнемёрзлых пород в условиях неглубокого оттаивания деятельного слоя, поймах крупных рек, а также на орошаемых землях. Схема устройства весового лизиметра приведена на рис. 3.2). В отличие от испарителей, в лизиметрах на некоторой глубине создают и автоматически поддерживают постоянный уровень грунтовых вод. Взвешивание производится на платформенных весах общего назначения. По изменению массы монолитов с учётом выпавших осадков, определённых по дождемеру, установленному у лизиметра, а также расхода и пополнения грунтовых вод по водорегулирующему устройству, вычисляют испарение с поверхности монолита. Измерение количества воды, долитой в лизиметр или слитой из него в процессе стабилизации уровня, показывают соответственно расход грунтовых вод в зону аэрации и их пополнение за счёт инфильтрации.

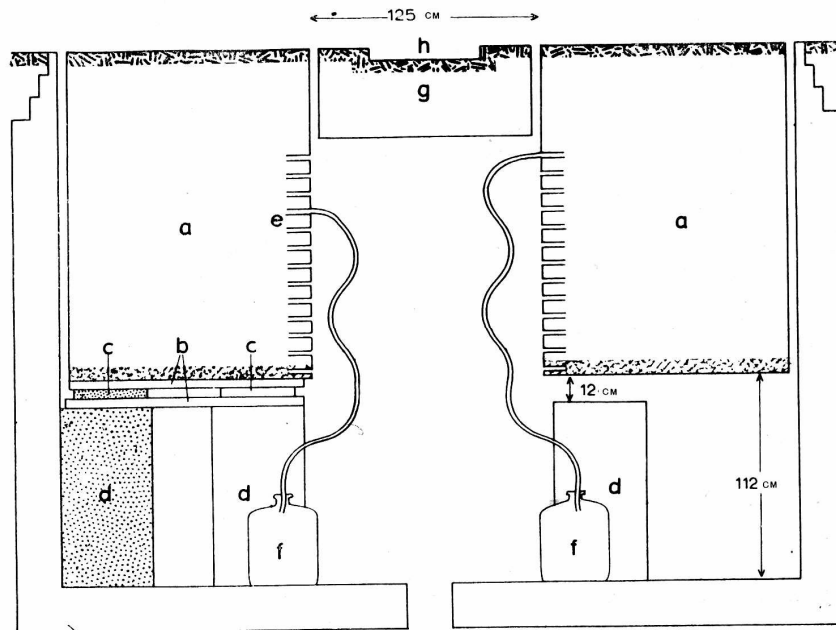


Рис. 3. 2. Схема весового лизиметра.

а - контейнер (корпус монолита); б – железные рамы по обе стороны напорных камер; с- напорные камеры; д – опоры высотой, достаточной для обеспечения доступа под контейнер; е – трубки, проникающие в почвенный монолит, пригодные также для стока воды (дренирования) и для подвода грунтовых вод; ф – мерный сосуд для стекающей воды; г – заполненная почвой крышка над проходом между контейнерами; h – самопишущий испаритель.

Точность измерения массы монолита позволяет определить изменения влагозапасов с ошибкой в 1мм слоя. Величину испарения по лизиметру вычисляют по уравнению водного баланса:

$$Z = 0005(P_1 - P_2) + \sum X + \sum Q - \sum I, \quad (3.3)$$

где P_1 и P_2 - масса лизиметра в начале и в конце периода между взвешиваниями, г; $\sum X$ - осадки за период между взвешиваниями, мм; $\sum Q$ - расход грунтовых вод в зону аэрации за период между взвешиваниями, что соответствует количеству воды, поданной в лизиметр, мм; $\sum I$ - пополнение запасов грунтовых вод за счёт инфильтрации атмосферных осадков, что соответствует количеству воды, откаченной из монолита, мм.

Результаты измерений отражают ход испарения в естественных условиях только в той случае, если водный и тепловой режимы монолитов соответствуют

водному и тепловому режимам почвогрунтов в зоне аэрации на окружающей территории.

3.3.3 Испарение с водной поверхности

Для измерения испарения с водной поверхности используются испарительные бассейны площадью 20м^2 , и испарители ГГИ-3000 с площадью 3000см^2 , который можно устанавливать и на воде (на специальных плотках).

Испарительный бассейн площадью 20м^2 , глубиной 2м представляют собой цилиндрический бак с плоским дном, изготовленный из листовой стали. Около внутренней стенки бака расположен успокоитель, на уровень воды в котором не оказывает влияние ни волнение, ни перекося уровня воды в бассейне. Внутри успокоителя находится иглообразный стержень, служащий для указания высоты, на которой должен поддерживаться уровень воды в бассейне, и реперная трубка. При изменении уровня воды в бассейне в реперную трубку вставляют объёмную бюретку высотой 6см, площадью 20см^2 . В стенке бюретки у самого дна имеется круглое отверстие, через которое вода из испарительного бассейна попадает внутрь бюретки. Отверстие закрывается резиновой пробкой, укрепленной на конце Г-образного рычага. Вода из бюретки через сливной носик переливается в измерительную стеклянную трубку. По количеству воды в трубке, определяемому числом делений, соответствующих уровню воды в ней, с помощью тарировочного множителя судят об уровне воды в бассейне в момент измерения. Разность начального и конечного уровней с учётом выпавших осадков даёт величину слоя воды, испарившейся за рассматриваемый промежуток времени.

Сеть пунктов наблюдений за испарением с водной поверхности, оснащённых водными испарителями ГГИ – 3000 на территории бывшего СССР, насчитывала более 400 пунктов.

В центре бака испарителя (рис. 3.1) имеется реперная трубка, на которую надевают объёмную бюретку. Указатель высоты, на которой должен

поддерживаться уровень воды в испарителе, служит укрепленный на реперной трубке иглообразный стержень. Показания испарителя находятся в сравнительно устойчивой связи с показаниями испарительного бассейна. Для перехода от показаний испарителя ГГИ- 3000 к показаниям бассейна используют редукционные коэффициенты или карты.

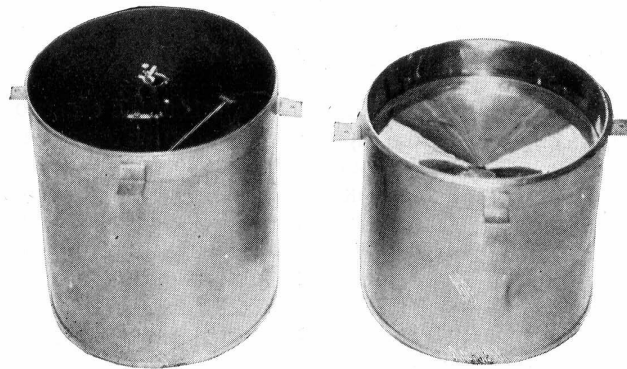


Рис. 3.3 Общий вид испарителя ГГИ-3000 и дождемера.

3. Механизм проникновения воды в почву

Оценка проникновения (просачивания) воды в почву имеет большое значение, так как помогает определить потери воды, нормы полива, изменения запаса грунтовых вод и т.д.

Закономерности изменений интенсивности впитывания во времени $K_t = f(t)$ на однородных элементарных площадках были получены Г.А.Алексеевым [1]. А.Н. Бефани [2] для расчёта хода впитывания воды в почву обосновал формулу вида:

$$K_t = K_0 + \frac{A}{t^n}, \quad (3.4)$$

где K_0 - коэффициент фильтрации (установившаяся интенсивность впитывания, измеряемая в конце длительного периода наблюдений); t -

продолжительность дождя (опыта); n - показатель редукиции впитывания); A - параметр, учитывающий характер предшествующего увлажнения, тип почвы, характер поверхности и интенсивность дождя.

Для производства съёмки инфильтрационной способности почв водосборов используются инфильтрометры системы ПВН (рис. 3.4).

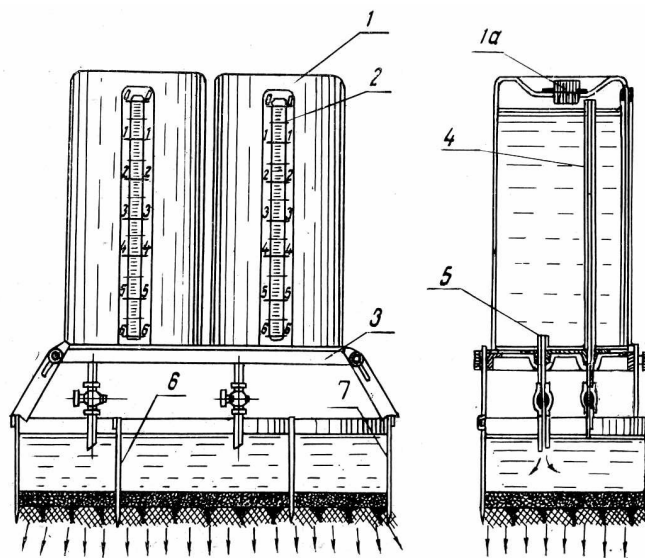


Рис. 3.4. Схема инфильтрометра ПВН.

1- питающие сосуды; 2- водомерное стекло; 3 –штатив; 4 – трубка с краном для выпуска воздуха; 5 – сливная трубка; 6 – малое кольцо; 7 – Большое кольцо.

Интенсивность инфильтрации определяют путём деления объёма расходуемой во внутреннем цилиндре воды на промежуток времени между отсчётами.

Водный баланс мелиорируемых земель

Гидромелиорации являются средством изменения водного и теплового режимов почвенного слоя, оказывают наиболее действенное влияние на происходящие в нём процессы, в результате чего повышается

урожайность сельскохозяйственных культур. Гидромелиорации перераспределяют влагу во времени и пространстве