

МЗ

П-69



УЧЕБНИК

В.А.Сенников Л.Г.Ларин  
А.И.Белолубцев Л.Н.Коровина

# ПРАКТИКУМ ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ



«КолосС»



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ «АГРООБРАЗОВАНИЕ»

В. А. СЕННИКОВ, Л. Г. ЛАРИН, А. И. БЕЛОЛЮБЦЕВ,  
Л. Н. КОРОВИНА

## ПРАКТИКУМ ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Допущено Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по агрономическим специальностям

РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева  
ЦНБ имени Н.И. Железнова  
Фонд учебной литературы  
№



МОСКВА «КолосС» 2006

УДК 551.5(075.8)  
ББК 40.2я73  
С31

Редактор Н. М. Щербакова

Рецензент: докт. геогр. наук, профессор А. А. Исеев (МГУ)

С31 Сенников В. А., Ларин Л. Г., Белолюбцев А. И., Коровина Л. Н.  
Практикум по агрометеорологии. — М.: КолосС, 2006. —  
215 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш.  
учеб. заведений).  
ISBN 5—9532—0391—8

Описаны приборы и правила измерения основных метеорологических величин, оказывающих влияние на процессы в сельском хозяйстве и продуктивность выращиваемых культур.

Даны рекомендации по оценке неблагоприятных агрометеорологических условий, агроклиматических ресурсов отдельных территорий. Рассмотрены основные методы агрометеорологических наблюдений и прогнозов, применяемых в практике обслуживания сельскохозяйственного производства.

Для выполнения практических работ приведены формы записи метеорологических и агрометеорологических наблюдений, агроклиматических характеристик, расчетов и анализа полученных результатов.

Для студентов, обучающихся по агрономическим специальностям.

УДК 551.5(075.8)  
ББК 40.2я73

ISBN 5—9532—0391—8

©Издательство «КолосС», 2006

## Лабораторная работа 1 НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИЕЙ

Лучистая энергия Солнца, или солнечная радиация, служит основным источником энергии, приходящей к деятельной поверхности Земли. Кроме того, она вместе с теплом, влагой, наличием атмосферного воздуха является основным и незаменимым фактором среды обитания растений, животных и человека на Земле. Солнечная радиация необходима для создания органического вещества в процессе фотосинтеза и оказывает влияние на рост и развитие растений, на продолжительность вегетации, в конечном счете определяет урожайность растений. Интенсивность солнечной радиации, ее спектральный состав и продолжительность светового дня влияют на качество зерна у зерновых культур, на процент белка и клейковины, на соотношение основной и побочной продукции в структуре урожая и др.

### ВИДЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В АТМОСФЕРЕ. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Прямая солнечная радиация  $S$  — это часть чистой энергии Солнца, поступающая к деятельной поверхности в виде квазипараллельных (почти параллельных) лучей от видимого диска солнца. Интенсивность прямой солнечной радиации  $S$  измеряется на нормальную (перпендикулярную) к лучу поверхность термоэлектрическим актинометром в ваттах на  $1 \text{ м}^2$ . Прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность,

$$S^* = S \sin h_0, \quad (1.1)$$

где  $S$  — прямая солнечная радиация на перпендикулярную поверхность,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $h_0$  — высота солнца над горизонтом, град.

Рассеянная радиация  $D$  — часть солнечного излучения, рассеянного атмосферой и поступающего от всего небосвода, исключая диск солнца, на горизонтальную поверхность. Измеряют термоэлектрическим пиранометром с теневым экраном.

Суммарная радиация  $Q$  — сумма прямой  $S$  и рассеянной радиации  $D$ , приходящей на горизонтальную поверхность:

$$Q = S + D. \quad (1.2)$$

Суммарную радиацию измеряют термоэлектрическим пиранометром без теневого экрана.

Отраженная коротковолновая радиация  $R_k$  — часть суммарной радиации, которая отразилась деятельной поверхностью. Ее измеряют по интенсивности радиационного потока, приходящего снизу вверх на горизонтальную поверхность, которая расположена на небольшой высоте от деятельной поверхности; исследуют ее отражательную способность. Отраженную радиацию измеряют альбедометром, т.е. пиранометром с приемной поверхностью, обращенной вниз.

Отражательная способность деятельной поверхности, или альбедо,

$$A_k = \frac{R_k}{Q} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Прямая, рассеянная и отраженная радиация относится к коротковолновой части спектра солнечного излучения с длинами волн  $\lambda < 0,76$  мкм.

Разность между суммарной и отраженной радиацией составляет баланс коротковолновой радиации

$$B_k = Q - R_k. \quad (1.4)$$

Эту разность называют также поглощенной коротковолновой радиацией.

Поглощательная способность деятельной поверхности равна

$$100\% - A_k. \quad (1.5)$$

Наряду с потоками коротковолновой радиации в атмосфере присутствуют и потоки длинноволновой радиации (тепловые лучи), т.е. лучи с длинами волн  $\lambda > 0,76$  мкм.

Тепловое излучение земли (деятельной поверхности)  $E_z$  — длинноволновая лучистая энергия, испускаемая деятельной поверхностью и направленная вверх, в атмосферу. Согласно одному из законов теплового излучения поверхность любого тела (газ, жидкость, твердое тело), температура которого выше 0 К, излучает пропорционально четвертой степени температуры этой поверхности:

$$E = \delta \sigma T^4, \quad (1.6)$$

где  $\delta$  — относительная излучательная способность поверхности. Для абсолютно черного тела  $\delta = 1$ . Из всех естественных поверхностей ближе всего к 1 относи-

тельная излучательная способность свежевыпавшего снега ( $\delta = 0,995$ );  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана;  $T$  — абсолютная температура излучающей поверхности.

Этот закон носит название закона Стефана — Больцмана.

Встречное тепловое излучение атмосферы  $E_a$  — это часть теплового излучения атмосферы, направленного к земле и поступающего на горизонтальную поверхность.

Разность между тепловым излучением земли  $E_z$  и встречным тепловым излучением атмосферы  $E_a$  называют эффективным излучением земли:

$$E_{эф} = E_z - E_a. \quad (1.7)$$

Радиационный баланс деятельной поверхности  $B$  — разность между приходом и расходом лучистой энергии на этой горизонтальной поверхности:

$$B = S + D + E_a - R_k - E_z. \quad (1.8)$$

Таким образом, к приходной части радиационного баланса относятся  $S$ ,  $D$ ,  $E_a$ , к расходной —  $R_k$ ,  $E_z$ . Это уравнение справедливо для ясной погоды днем. При пасмурной погоде днем из уравнения выпадает прямая радиация:

$$B = D + E_a - R_k - E_z. \quad (1.9)$$

В ночное время суток в уравнении присутствуют только тепловые потоки:

$$B = E_a - E_z \quad (1.10)$$

или

$$B = -E_{эф}. \quad (1.11)$$

Радиационный баланс и все его составляющие измеряют в энергетических единицах ( $\text{Вт/м}^2$ ). До 1960 г., когда была введена международная система единиц измерения СИ, все радиационные потоки в атмосфере измеряли в тепловых единицах: калориях за 1 мин на  $1 \text{ см}^2$  ( $\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ ). Соотношение между единицами измерения следующее:  $1 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин} = 698 \text{ Вт/м}^2$ .

Суммы радиации, поступающие на единицу поверхности за тот или иной промежуток времени, измеряют в джоулях на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{Дж/м}^2$ ).

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНАЯ РАДИАЦИЯ (ФАР)

Часть лучистой энергии солнца и неба, которую растения усваивают в процессе фотосинтеза, называют фотосинтетически активной радиацией. ФАР располагается в волновом диапазоне от 0,38 до 0,71 мкм. Наиболее активно в фотосинтезе участвуют фио-

летово-синие и оранжево-красные лучи с длинами волн 0,38...0,48 мкм и 0,65...0,68 мкм соответственно. Измеряют ФАР либо фитопиранометром, т. е. пиранометром с набором фильтров, отсекающих лучи с длинами волн короче 0,38 мкм и длиннее 0,71 мкм, либо обычным пиранометром, принимая во внимание, что соотношение суммарной радиации  $Q$  и фотосинтетически активной радиации ФАР достаточно точно, если  $\text{ФАР} = 0,5Q$ .

## ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В АТМОСФЕРЕ

**Измерение прямой солнечной радиации.** Для измерения этого потока лучистой энергии применяют как абсолютные, так и относительные приборы. К абсолютным приборам относят различные виды пиргелиометров конструкции К. Онгстрема, А. Н. Бойко, Н. В. Кучерова, В. А. Михельсона—Аббота и др.; к относительным — биметаллические актинометры Михельсона, Михельсона—Мартена, Калитина, Протасова. Наиболее часто пользуются термоэлектрическим актинометром конструкции Ю. Д. Янишевского (относительный).

Актинометр термоэлектрический М-3 (АТ-50). Прибор предназначен для измерения интенсивности прямой солнечной радиации. Актинометр соединяют или с гальванометром стрелочным актинометрическим (ГСА-1), или с самопишущим потенциометром.

**Принцип действия** термоэлектрического актинометра заключается в том, что почерненный серебряный диск, открытый для диска солнца и небольшого участка вокруг него, поглощает солнечную радиацию и повышает вследствие этого температуру. Разность температур диска и корпуса прибора пропорциональна интенсивности радиации. Электродвижущая сила термобатарей пропорциональна разности температур, а следовательно, и интенсивности радиации. Устройство термобатарей основано на принципе термопары, т. е. спаев двух металлов — манганина и константана в виде термозвездочки из 36...26 спаев. Нечетные внутренние спаи находятся на затененной стороне серебряного диска, четные — на внешней, доступной солнечным лучам (рис. 1.1). И четные, и нечетные спаи изолированы от диска и корпуса папиросной бумагой.

Внешний вид и устройство термоэлектрического актинометра М-3 показаны на рисунке 1.2.

Выводы термобатарей в виде мягких проводов 9 предназначены для подключения к регистратору ГСА-1 или потенциометру. Корпус закрыт кожухом 10, закрепленным гайкой 8, и соединен винтом 12 с медной трубкой 15. Внутри трубки имеются пять диафрагм, расположенных в порядке уменьшения их диаметра от

20 мм до 10 мм по направлению к корпусу. Диафрагмы удерживаются распоркой и пружинящей шайбой, установленными между корпусом и наименьшей диафрагмой. С внутренней стороны диафрагмы зачернены.

На концах трубки расположены кольца 11 и 16 для нацеливания актинометра на солнце. На кольцо 16 есть отверстие, а на кольцо 11 — точка. При нацеливании пучок света, проходя через отверстие, должен точно попасть в точку кольца 11. Трубка закрывается съемной крышкой 20, которая служит для определения места нуля стрелки гальванометра и защищает приемник от загрязнения.

Трубка 15 соединяется со стойкой 6, закрепленной на плате 21 параллактическим штативом 17 с рукояткой 14. Шкала 18 служит для установки оси штатива по широте места, для этого же предназначены риска 19 и винт 7.

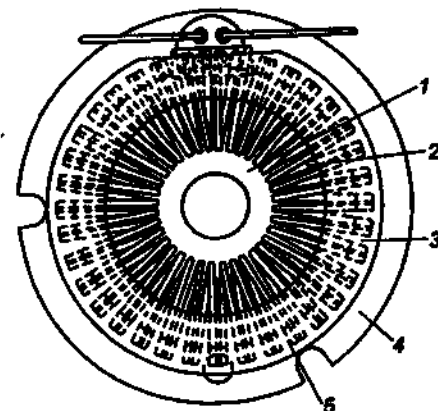


Рис. 1.1. Термозвездочка термоэлектрического актинометра М-3 (АТ-50):

1 — серебряный диск; 2 — нечетные внутренние спаи термозвездочки; 3 — четные внешние спаи; 4 — медное кольцо, к которому приклеены внешние спаи; 5 — бумажные изоляционные прокладки

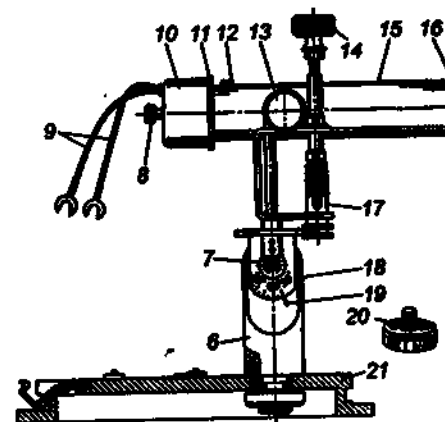


Рис. 1.2. Термоэлектрический актинометр М-3 (АТ-50):

1...5 — см. рис. 1.1; 6 — стойка; 7, 12, 13 — винты; 8 — гайка; 9 — провода; 10 — кожух; 11, 16 — кольца; 14 — рукоятка; 15 — трубка; 17 — штатив; 18 — шкала широт; 19 — риска; 20 — крышка; 21 — плата

Устанавливают актинометр перед началом измерений согласно широте места наблюдений. Для этого, ослабив винт 7, поворачивают ось штатива до совпадения деления шкалы 18, соответствующего широте места, с риской 19 и закрепляют винтом ось в данном положении. Затем устанавливают актинометр на горизонтальной подставке так, чтобы стрелка на плите была направлена на север. Далее приемник ориентируют на солнце ослаблением винта 13 и вращением рукоятки 14 до тех пор, пока пучок света, проходящий через отверстие кольца 16, не попадет на точку кольца 11. Затем при открытой крышке и освобожденном арретире гальванометра актинометр с помощью мягких проводов подсоединяют к клеммам (+) и (—), соблюдая полярность. Если стрелка гальванометра отклоняется влево за нуль, то порядок подключения меняют. Если стрелка гальванометра отклоняется вправо за последнее деление шкалы, то подключение проводят через добавочное сопротивление.

Измерения после наведения актинометра на солнце начинают с отсчета места нуля. Для этого трубку закрывают съемной крышкой и через 60 с делают отсчет по гальванометру  $N'_0$ . Затем снимают крышку и с интервалом 20 с, контролируя точность нацеливания на солнце, делают три отсчета по гальванометру ( $N_1, N_2, N_3$ ), закрывают крышкой трубку и через 1 мин отсчитывают место нуля гальванометра  $N''_0$ . После измерений крышку футляра закрывают.

Обработку наблюдений начинают с вычисления среднего арифметического из двух нулевых отсчетов  $N_0 = (N'_0 + N''_0)/2$ . Далее рассчитывают среднее арифметическое из трех отсчетов по прямой солнечной радиации  $\bar{N}_0 = (N_1 + N_2 + N_3)/3$ . Из поверочного свидетельства гальванометра по среднему арифметическому из трех отсчетов прямой радиации находят шкаловую поправку  $\pm \Delta N$ . Затем вычисляют сумму  $N = \bar{N} \pm \Delta N - N_0$ , которую умножают на переводный множитель  $a$  и получают  $S$ , Вт/м<sup>2</sup>, т. е. приход прямой солнечной радиации. Переводный множитель  $a$  определяют либо сравнивая с контрольной парой приборов, переводный множитель которой известен, либо вычисляют по формуле, если известны характеристики датчика и регистратора:

$$a = \frac{\alpha}{1000K} (R_6 + R_r + R_{доб}), \quad (1.12)$$

где  $a$  — переводный множитель Вт/м<sup>2</sup> на 1 деление гальванометра;  $K$  — чувствительность термобатарей актинометра, мВ;  $\alpha$  — цена деления шкалы гальванометра, мкА;  $R_6$  — сопротивление термобатарей, Ом;  $R_r$  — сопротивление рамки гальванометра, Ом;  $R_{доб}$  — добавочное сопротивление гальванометра, Ом.

Чтобы получить интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность,  $S$  умножают на синус высоты солнца [см. формулу (1.1)].

## ИЗМЕРЕНИЕ РАССЕЯННОЙ И СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ

Для этих целей применяют пиранометры, принцип действия которых основан на измерении термоэлектрического тока, пропорционального интенсивности радиации. Этого достигают, применяя в качестве приемной поверхности металлические пластины с различной поглощательной способностью (черные и белые).

Термоэлектрический пиранометр М-80М (рис. 1.3). Приемником радиации пиранометра служит квадратная термобатарея 5, состоящая из последовательно спаянных манганиновых и константановых полос. Нечетные слои окрашены сажей в черный цвет, а четные — магнезией в белый. Черные и белые участки чередуются в шахматном порядке. Термобатарея приклеена к охлаждающим ребрам, электрически изолированным папиросной бумагой. Спай на поворотах скреплены полоской олюды. Белые поля батареи слегка пропитаны парафином, что уменьшает поглощательную способность магнезии до выравнивания с сажей для инфракрасных лучей. Ребра термобатареи образуют плитку, привинченную к корпусу 6. Выводы термобатареи выходят к клеммам, расположенным на нижней части корпуса. Головка пиранометра сверху закрыта стеклянным кварцевым полусферическим колпаком 7 для защиты от осадков и ветра. Головка пиранометра навинчена на стойку 4 с откидной платой. Для защиты термобатареи и стеклянного колпака от конденсата внутри стойки есть сушилка с поглотителем водяного пара (силикагелем, металлическим натрием, хлористым кальцием, прокаленным медным купоросом, фосфорным ангидридом). Особенно удобен индикаторный силикагель, меняющий цвет при насыщении. К тому же силикагель можно применять многократно. Откидная плата пружиной 11 соединена с треногой 12, укрепленной на основании футляра, и имеет три установочных винта 1. Перед началом измерений пиранометр уста-

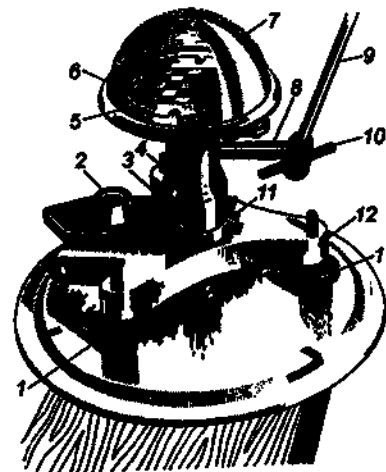


Рис. 1.3. Термоэлектрический пиранометр М-80М:

1 — установочные винты; 2 — уровень; 3, 10 — винты; 4 — стойка; 5 — термобатарея; 6 — корпус; 7 — стеклянный колпак; 8 — стержень; 9 — трубка; 11 — пружина; 12 — тренога

навливают по уровню 2 горизонтально. Для затенения термобатареи от прямой радиации имеется теневой экран, диаметр которого вдвое больше диагонали термобатареи. Экран укреплен на трубке 9 такой длины, чтобы был виден из центра приемника под углом  $10^\circ$ . Трубку устанавливают винтом 10 на шарнире, расположенном на горизонтальном стержне 8.

При измерении рассеянной радиации теневой экран направляют на диск солнца так, чтобы тень от него полностью накрыла собой головку пиранометра, и винтом закрепляют это положение экрана на шарнире. При измерении суммарной радиации теневой экран не используют.

В комплект пиранометра входит также металлический колпак для определения места нуля гальванометра. Кроме того, он служит для защиты кварцевого стекла от механических повреждений.

Устанавливают пиранометр на высоте 1,5 м над деятельной поверхностью на открытом месте так, чтобы в течение года при любом положении солнца он по возможности не подвергался затенению. К солнцу пиранометр поворачивают той стороной, где имеется номер на головке. Для этого винт 3 ослабляют, а после ориентации снова закрепляют. Если в промежутках между наблюдениями пиранометр остается на площадке, то в его сушилку кладут силикагель, заполняющий сушилку наполовину. Гальванометр для пиранометра должен быть установлен на подставке в ящик, защищающий гальванометр от осадков, ветра и резких колебаний температуры. Место установки гальванометра должно быть таким, чтобы наблюдатель не затенял пиранометр не только от прямой, но и от рассеянной радиации. Правильность подключения пиранометра проверяют при открытой термобатареи и освобожденном арретире гальванометра. Если при этом стрелка гальванометра уходит влево за нуль, то нужно поменять полярность подключения пиранометра к гальванометру.

Наблюдения по пиранометру выполняют следующим образом. При надетой крышке и замкнутой цепи пиранометра с гальванометром определяют место нуля гальванометра  $N'_0$ . Затем с пиранометра снимают крышку и приемник вместе со стекляннным колпаком поворачивают номером в сторону солнца и затеняют экраном от прямых солнечных лучей для наблюдения рассеянной радиации. Отсчеты начинают спустя 60 с после затенения. С интервалом 20 с делают три отсчета рассеянной радиации  $N_1, N_2, N_3$  с точностью до 0,1 деления шкалы. Затем экран опускают ниже уровня термобатареи и через 60 с (это инерция пары датчик — регистратор) делают три отсчета суммарной радиации  $N_4, N_5, N_6$  с интервалом 20 с. После этого головку пиранометра закрывают колпаком и через 60 с отсчитывают место нуля  $N''_0$ . Все показания гальванометра записывают в таблицу 1.1.

1.1. Пример записи наблюдений по пиранометру

| Место нуля гальванометра |         |                          | Рассеянная радиация (с экраном) |       |       | Суммарная радиация (без экрана) |       |       |
|--------------------------|---------|--------------------------|---------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| $N'_0$                   | $N''_0$ | $\frac{N'_0 + N''_0}{2}$ | $N_1$                           | $N_2$ | $N_3$ | $N_4$                           | $N_5$ | $N_6$ |
| 0,5                      | 1,5     | 1,0                      | 21,1                            | 21,3  | 21,4  | 76,4                            | 76,6  | 76,8  |

Вычисление

| Рассеянная радиация         |      | Суммарная радиация          |      |
|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
| $\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$ | 21,3 | $\frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}$ | 76,6 |
| $\pm \Delta N$              | -0,3 | $\pm \Delta N$              | -0,6 |
| $-\frac{N'_0 + N''_0}{2}$   | -1,0 | $-\frac{N'_0 + N''_0}{2}$   | -1,0 |
| Сумма $N_p$                 | 20,0 | Сумма $N_q$                 | 75,0 |
| Переводный множитель $a$    | 10,0 | Переводный множитель $a$    | 10,0 |

Радиация, Вт/м<sup>2</sup>: рассеянная — 200,0; суммарная — 750,0; прямая — 550,0.

Обработка наблюдений: сначала определяют среднее арифметическое из двух отсчетов места нуля  $(N'_0 + N''_0)/2$ . Далее рассчитывают среднее арифметическое из трех отсчетов рассеянной радиации и трех отсчетов суммарной радиации  $(N_1 + N_2 + N_3)/3$ ,  $(N_4 + N_5 + N_6)/3$ . Затем из поверочного свидетельства для каждого из этих средних значений находят шкаловую поправку к гальванометру ( $\pm \Delta N$ ).

Чтобы получить значение рассеянной радиации  $D$ , нужно в среднее измеренное значение ввести шкаловую поправку  $\pm \Delta N$  и вычесть осредненное место нуля, полученное число делений гальванометра умножить на переводный множитель  $a$ , взятый из поверочного свидетельства в готовом виде либо рассчитанный по формуле (1.12) по аналогии с актинометром.

Суммарную радиацию можно также вычислить по формуле

$$Q = \left[ \left( \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3} \right) \pm \Delta N - \frac{N'_0 + N''_0}{2} \right] a. \quad (1.13)$$

Причем необходимо учесть еще и поправочный множитель на высоту солнца  $F_{h_0}$ , который приводится в поверочном свидетельстве в виде графика, где по абсциссе отложена высота солнца над горизонтом  $h_0$ , по ординате — поправочный множитель.

С учетом поправочного множителя более точно значение суммарной радиации, Вт/м<sup>2</sup>, можно определить по формуле

$$Q = a[(N_Q - N_D)F_{h_0} + N_D], \quad (1.14)$$

где  $N_Q$  и  $N_D$  — исправленные отсчеты гальванометра по суммарной и по рассеянной радиации.

По показаниям пиранометра можно рассчитать приход прямой радиации на горизонтальную поверхность:

$$S^* = Q - D. \quad (1.15)$$

## ИЗМЕРЕНИЕ ОТРАЖЕННОЙ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ И АЛЬБЕДО ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Большая часть суммарной радиации, приходящей к подстилающей поверхности, превращается в тепло, а часть отражается ею. Степень нагрева поверхности и приземного слоя воздуха определяется ее отражательной способностью (альбедо). Оно зависит от цвета, влажности, шероховатости, степени покрытости растениями. Измеряют альбедо различных поверхностей альбедометром.

Альбедометр походный М-69. Прибор предназначен для измерения в походных (полевых) условиях суммарной, рассеянной и отраженной радиации с целью дальнейшего расчета альбедо действительной поверхности.

Устройство альбедометра показано на рисунке 1.4. Прибор представляет из себя головку пиранометра, закрепленную на карданном подвесе, который обеспечивает горизонтальное положение термобатареи как при положении альбедометра вверх, так и вниз. Карданный подвес в свою очередь насажен на шест длиной 1,5...2 м. Это необходимо для того, чтобы при измерении альбедо различных культур в полевых условиях не нарушать структуру надземной части растений.

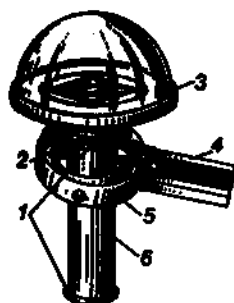


Рис. 1.4. Альбедометр походный М-69:

1 — резиновые прокладки; 2 — втулка; 3 — головка пиранометра; 4 — рукоятка; 5 — карданный подвес; 6 — трубка

Головка пиранометра 3 привинчена на втулке 2 к трубке 6 с карданным подвесом 5 и рукояткой 4, куда вставляют полтора-двухметровый шест. Поворотом рукоятки вверх-вниз создается возможность измерять приходящую суммарную или рассеянную радиацию и отраженную коротковолновую радиацию. Отвесное положение трубки обеспечивает свинцовый груз, который скользит внутри нее. Для смягчения ударов груза при поворотах альбедометра на концах трубки установлены резиновые прокладки 1.

Установку альбедометра осуществляют подключением мягкими проводами к гальванометру при открытой термобатареи и освобожденном арретире. Затем проверяют полярность подключения. Альбедометр располагают на высоте 1,5 м над действительной поверхностью, а на полях с различными сельскохозяйственными культурами — на расстоянии 0,5 м над верхним уровнем растительного покрова. При измерении приходящей радиации головку пиранометра поворачивают номером к солнцу.

Измерения по альбедометру начинают с отсчета места нуля  $N'_0$  при закрытой крышке. Затем открывают крышку, выжидают 60 с и делают три отсчета с интервалом 20 с приходящей радиации: суммарной, если диск солнца не закрыт облаками, рассеянной — если закрыт,  $N_1, N_2, N_3$ . Потом альбедометр поворачивают приемником вниз и через 60 с с тем же интервалом три раза отсчитывают отраженную радиацию  $N_4, N_5, N_6$ . Поворотом на 180° возвращают альбедометр в исходное положение головкой вверх, закрывают термобатарею колпаком и через 60 с делают конечный отсчет места нуля  $N''_0$ . Все отсчеты записывают в таблицу 1.2.

1.2. Пример записи наблюдений по альбедометру

| Место нуля гальванометра |         |                          | Суммарная радиация |       |       | Отраженная радиация |       |       |
|--------------------------|---------|--------------------------|--------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| $N'_0$                   | $N''_0$ | $\frac{N'_0 + N''_0}{2}$ | $N_1$              | $N_2$ | $N_3$ | $N_4$               | $N_5$ | $N_6$ |
| 0,5                      | 1,5     | 1,0                      | 80,1               | 80,2  | 80,3  | 20,4                | 20,6  | 20,8  |

Вычисление

| Суммарная радиация          |      | Отраженная радиация      |      |
|-----------------------------|------|--------------------------|------|
| $\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$ | 80,2 |                          | 20,6 |
| $\pm \Delta N$              | -0,2 | $\pm \Delta N$           | -0,6 |
| $\frac{N'_0 + N''_0}{2}$    | -1,0 |                          | -1,0 |
| Сумма $N_0$                 | 79,0 | Сумма $N_{\text{отр}}$   | 19,0 |
| Переводный множитель $a$    | 10,0 | Переводный множитель $a$ | 10,0 |

Радиация, Вт/м<sup>2</sup>: отраженная — 190,0; суммарная — 790,0; альбедо  $A = R_{\text{отр}}/Q \cdot 100\% = 24\%$ .

Обработка наблюдений: сначала вычисляют среднее значение места нуля  $N'_0 + N''_0/2$  и средние значения показаний гальванометра для каждого вида радиации. Затем к средним значениям вводят

шкаловую поправку  $\pm \Delta N$  из поверочного свидетельства и вычитают осредненное место нуля. Полученные значения  $N_Q$  и  $N_{R_k}$  умножают на переводный множитель  $a$  и получают приходящую и отраженную радиацию в энергетических единицах, Вт/м<sup>2</sup>, а по формуле (1.3) — значение альбеда, %.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА

Балансомер в соединении с гальванометром предназначен для измерения остаточной радиации (радиационного баланса) деятельной поверхности. Прибор показывает разность между суммой приходящих потоков радиации на верхнюю поверхность балансомера и суммой всех потоков радиации, приходящих на его нижнюю поверхность. Затенением балансомера исключается прямая солнечная радиация, которую добавляют к показаниям балансомера по наблюдениям более точного прибора — актинометра.

Если уклон поверхности почвы не превышает 3°, то балансомер располагают горизонтально. На более крутых склонах балансомер устанавливают параллельно земной поверхности. Над снегом или водой балансомер может находиться на высоте ~0,5 м. Если же измерения проводят над деятельной поверхностью с высокой поглощательной способностью при высоком солнце и слабом ветре, то чтобы струи конвективных токов воздуха от почвы не создавали нестабильность положения стрелки гальванометра, балансомер устанавливают на высоте не менее 1,5...2 м.

Радиационные потоки, поступающие на верхнюю и нижнюю поверхности балансомера, неодинаковы и, следовательно, по-разному нагревают эти поверхности. Разность температур, измеряемая термоэлементами, пропорциональна разности между потоками радиации сверху и снизу. Последняя разность и есть остаточная радиация, или радиационный баланс деятельной поверхности, над которой расположен балансомер.

Балансомер термоэлектрический М-10М (рис. 1.5). Представляет собой корпус 1 с двумя квадратными приемниками 2 на верхней и нижней поверхностях корпуса и рукояткой 11. Приемниками служат два листка медной оксидированной и окрашенной в черный цвет фольги в форме квадрата 48 × 48 мм. Краска состоит из сажи, связанной янтарем. С внутренней стороны медных пластинок через бумажные изоляционные прокладки 6, 7 приклеены спай 3, 4 термопары 8. Спаи образованы витками намотанной на медный брусок 5 константановой ленты 10. На половину каждого витка нанесен слой серебра 9. Начало и конец серебряного слоя являются термопарами. Четные спаи подклеены к верхней, а нечетные — к нижней пластинке. Вся термопара состоит из десяти брусков, на каждый из которых намотано по 32 витка. Балансомер с помощью шарнира 15 устанавливают на планке 14. К этой

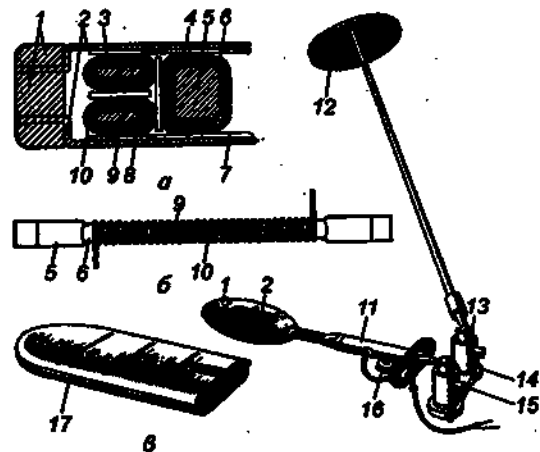


Рис. 1.5. Термоэлектрический балансомер М-10М:

*а* — схематическое поперечное сечение термопары; *б* — термопары, вид сбоку; 1 — корпус; 2 — приемник радиации; 3, 4 — спаи; 5 — медный брусок; 6, 7 — изоляционные прокладки; 8 — термопары; 9 — серебряный слой; 10 — константановая лента; 11 — рукоятка; 12 — теневой экран; 13, 15 — шарниры; 14 — планка; 16 — винт; 17 — чехол

же планке на шарнире 13 крепят стержень с теневым экраном 12 для защиты от прямой солнечной радиации. Для защиты балансомера от осадков и механических повреждений в комплект входит чехол 17, закрепляемый винтом 16.

Устанавливают балансомер так, чтобы одна сторона корпуса, помеченная цифрой 1, всегда была направлена вверх. Выводы термопары подключают к гальванометру либо к микроамперметру М265 М94, у которого нулевое положение стрелки находится посередине шкалы. В последнем случае, если стрелка при измерении отклоняется вправо от нулевого положения, то радиационный баланс положительный, а если влево — отрицательный. При солнечной погоде балансомер при измерениях затеняют экраном, поэтому на одной рейке с балансомером устанавливают актинометр для измерения прямой радиации.

Так как показания балансомера зависят от скорости ветра, то для измерения скорости ветра в данный момент времени (когда делают отсчет по балансомеру) на уровне балансомера устанавливают анемометр ручной индукционный (АРИ-49).

Наблюдения по балансомеру начинают с отсчета места нуля  $N_0'$  при разомкнутой цепи, потом подключают прибор к регистратору и делают три отсчета  $N_1, N_2, N_3$  и синхронно три отсчета по анемометру  $V_1, V_2, V_3$ . После каждого отсчета по балансомеру делают отсчет по актинометру. Затем при разомкнутой цепи снимают конечный отсчет места нуля  $N_0''$ .

**Обработка наблюдений:** вначале находят осредненное место нуля  $(N'_0 + N''_0)/2$ , затем — среднее из трех отсчетов по балансометру  $(N_1 + N_2 + N_3)/3$  и среднее из трех отсчетов по анемометру  $(V_1 + V_2 + V_3)/3$ . По среднему из трех показаний гальванометра находят шкаловую поправку  $\pm \Delta N$ , используя поверочное свидетельство. Далее алгебраически суммируют средний из трех отсчетов со шкаловой поправкой и вычитают осредненное место нуля.

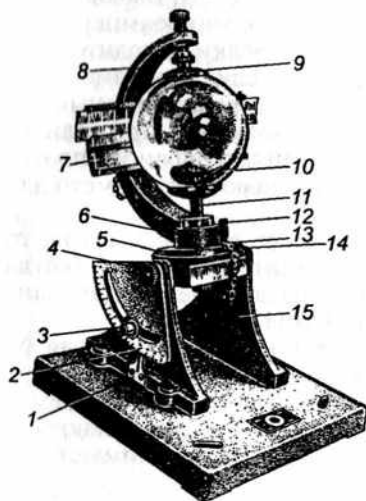
Полученный таким образом результат умножают на переводный множитель  $a$  и на поправочный множитель  $K$ , который берут из поверочного свидетельства по средней из трех отсчетов скорости ветра. Произведение и даст значение радиационного баланса, Вт/м<sup>2</sup>, за вычетом прямой радиации, т. е.  $B - S'$ . Само значение радиационного баланса определяют после расчета  $S'$  (по показаниям актинометра) следующим образом:  $(B - S') + S' = B$ .

Следует учесть, что балансовые наблюдения при выпадении атмосферных осадков, густом оседающем тумане, изморози и гололеде не проводят. При инее и росе балансометр может работать ночью.

### ИЗМЕРЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

В светлое время суток при безоблачной погоде продолжительность солнечного сияния равна времени от восхода солнца до захода и ограничивается лишь степенью закрытости горизонта по азимуту восхода и захода солнца. При переменной облачности диск солнца не закрыт облаками лишь в определенные промежутки времени.

**Гелиограф универсальный ГУ-1.** Для регистрации времени, когда диск солнца открыт, предназначен гелиограф ГУ-1.



**Устройство гелиографа** показано на рисунке 1.6. Основанием прибора служит плоская металлическая плита с двумя стойками 15. Между стойками на горизонтальной оси 4 укреплен подвижная часть прибора, состоящая из колонки 6 с лимбом 5 и нижним упором 11, скобы 8 с чашкой 7 и верхним упором 9 и

Рис. 1.6. Гелиограф универсальный ГУ-1:

1 — указатель широты; 2 — сектор; 3 — винт для закрепления угла наклона оси; 4 — горизонтальная ось; 5 — лимб; 6 — колонка; 7 — чашка; 8 — скоба; 9 и 11 — верхний и нижний упоры; 10 — стеклянный шар; 12 — штифт; 13 — диск; 14 — индекс на диске; 15 — стойка

стеклянного шара 10, который является сферической линзой. На одном из концов горизонтальной оси закреплен сектор 2 со шкалой широт. При перемещении горизонтальной оси 4 прибора с запада на восток и повороте верхней части прибора вокруг нее ось колонки 6 устанавливается параллельно оси вращения Земли (оси мира). Для закрепления установленного угла наклона оси колонки служит винт 3.

Верхняя часть прибора может поворачиваться вокруг оси колонки 6 и фиксироваться в четырех положениях. Для этого используют штифт 12, который вставляют через отверстие лимба 5 в одно из четырех отверстий диска 13, закрепленного на оси 4. Совпадение отверстий лимба 5 и диска 13 определяют по совпадению меток А, Б, В, Г на лимбе 5 с индексом 14 на диске.

Для установки гелиографа по географической широте места ось гелиографа наклоняют и, ослабив стопорный винт 3, поворачивают верхнюю часть прибора вокруг горизонтальной оси 4, устанавливая шкалу широт в таком положении, чтобы указатель широты 1 совпал с делением шкалы широт, соответствующем широте места наблюдений с точностью до 0,5°. После установки по широте указатель широт закрепляют стопорным винтом.

Для ориентации гелиографа по линии географического меридиана необходимо:

установить в солнечный день незадолго до наступления истинного полдня гелиограф с заложенной соответственно сезону лентой шаром на юг, совместив индекс диска с меткой Б на лимбе;

определить московское (зимнее) время, которое будут показывать часы наблюдателя в истинный полдень, введя постоянную разность между средним солнечным временем места наблюдений и московским (зимним) временем. Например, такая разность для метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева составляет +30 мин;

повернуть гелиограф в момент, соответствующий истинному полдню, так, чтобы светящаяся точка оказалась на центральной линии ленты, совпадающей с такой же линией на чашке прибора.

**Устанавливают гелиограф** горизонтально на открытой площадке, доступной солнечным лучам в течение всего дня, на столбе высотой 2 м или на крыше здания на прочной подставке. Горизонтальность установки проверяют уровнем.

По окончании установки составляют график закрытости горизонта, указывая, с какой стороны и какими предметами закрыт горизонт, их высоту и расстояние до них. При изменении условий закрытости горизонта делают соответствующие исправления.

**Принцип действия гелиографа** основан на прожигании бумажных синих лент солнечными лучами, собранными в фокусе стеклянного шара. На внутренней стороне чашки 7 имеется три пары пазов для закладывания бумажных лент соответственно времени

года: в верхнюю пару пазов — зимой (с 16 октября до конца февраля), в среднюю — весной и осенью (с 01.03 по 15.04 и с 01.09 по 15.10), в нижнюю — летом (с 16.04 по 31.08). В верхние и нижние пазы закладываются изогнутые, а в средние — прямые ленты.

В короткие дни, когда солнце находится над горизонтом не более 9 ч, ленту меняют после захода солнца один раз в сутки. Шар в этом случае всегда повернут на юг (положение Б). При продолжительности дня от 9 до 18 ч ленту меняют 2 раза в сутки: первый раз после захода солнца, второй — в 12 ч по среднему солнечному времени. Одновременно со сменой лент меняют положение шара. При вечерней смене лент шар поворачивают на восток (положение А), а при смене в полдень — на запад (положение В). Если продолжительность дня от восхода до захода солнца превышает 18 ч, меняют ленты и поворачивают шар три раза в сутки — в 4, 12 и 20 ч по среднему солнечному времени. При смене ленты и повороте шара в 4 ч указатель совмещают с индексом А, в 12 ч — с индексом В и в 20 ч — с индексом Г.

Во время смены лент шар гелиографа затеняют. Ленту меняют, даже если на ней не оказывается следов прожога (в пасмурную погоду). На обороте каждой ленты отмечают год, месяц, дату и время установки и снятия ленты.

Прожог ленты гелиографа происходит, когда интенсивность прямой солнечной радиации составляет 0,2...0,4 кал/см<sup>2</sup>·мин (140...280 Вт/м<sup>2</sup>).

Обработку лент гелиографа проводят для расчета продолжительности солнечного сияния. Ее определяют по прожогу за каждый час в десятых долях часа, учитывая даже слабые следы прожога. Суммируя продолжительность солнечного сияния за каждый час, получают суточную продолжительность солнечного сияния (табл. 1.3).

1.3. Образец записи продолжительности солнечного сияния за сутки

| Число, месяц | Истинное солнечное время по часам |       |       |       |       |        |         |         |         |  |
|--------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|--|
|              | 4...5                             | 5...6 | 6...7 | 7...8 | 8...9 | 9...10 | 10...11 | 11...12 | 12...13 |  |
| 20.06        | 0,2                               | 0,8   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0    | 0,9     | 0,8     | 0,8     |  |
| 21.06        | 0,1                               | 0,5   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0    | 1,0     | 1,0     | 1,0     |  |

Продолжение

| Число, месяц | Истинное солнечное время по часам |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  | Сумма за сутки |
|--------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|----------------|
|              | 13...14                           | 14...15 | 15...16 | 16...17 | 17...18 | 18...19 | 19...20 | 20...21 | 21...22 | 22...23 |  |                |
| 20.06        | 0,7                               | 0,7     | 0,6     | 0,6     | 0,8     | 0,9     | 0,9     | 0,8     | 0,5     |         |  | 14,0           |
| 21.06        | 0,9                               | 0,8     | 0,8     | 0,6     | 0,5     | 0,3     | 0,2     |         |         |         |  | 11,7           |

Продолжительность солнечного сияния за декаду, месяц, год можно получить, суммируя часы солнечного сияния за каждые сутки.

## ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ

Освещенность, лк,

$$E = F/S, \quad (1.16)$$

где  $F$  — световой поток в люменах (лм);  $S$  — площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Освещенность, создаваемую естественным дневным светом или источниками искусственного освещения, измеряют фотоэлектрическим люксметром (Ю-16).

Принцип действия прибора основан на явлении фотоэлектрического эффекта. Приемной частью люксметра (рис. 1.7) является селеновый фотоэлемент 2 прямоугольной формы размером 5×5 см. Фотоэлемент заключен в пластмассовый корпус 3 с ручкой 4, от которой отходит провод 7 для подключения фотоэлемента к гальванометру 1. Последний представляет собой магнитоэлектрическое стрелочное устройство. Его работа основана на взаимодействии магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, и фототока. В результате возникает вращающий момент, отклоняющий подвижную систему со стрелкой. Гальванометр имеет три шкалы, проградуированных в люксах: верхнюю 15, по ней измеряют освещенность до 25 лк; среднюю 16 с пределами измерения от

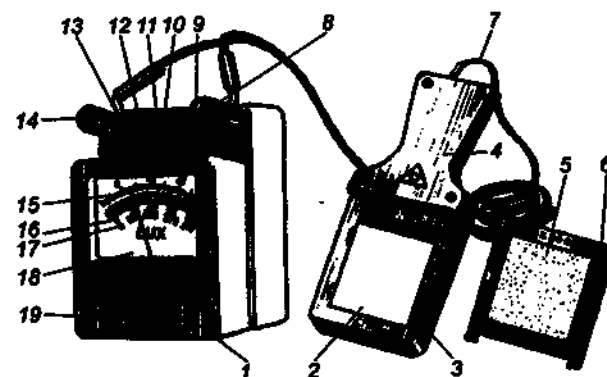


Рис. 1.7. Фотоэлектрический люксметр Ю-16:

1 — гальванометр; 2 — селеновый фотоэлемент; 3 — пластмассовый корпус; 4 — ручка; 5 — фотоэлемент; 6 — металлическая рамка; 7 — провод; 8, 14 — зажимы для подключения фотоэлемента к гальванометру; 9, 10, 12 — положения переключателя пределов; 11 — переключатель пределов измерения; 13 — клеммы; 15, 16, 17 — шкалы; 18 — стрелка; 19 — корректор

25 до 100 лк и нижнюю 17 — от 100 до 500 лк. В зависимости от освещенности переключатель шкал 11 ставят в соответствующее положение: при слабом свете — на 25 (12), при среднем — на 100 (10), при сильном — на 500 (9). Для установки стрелки на нулевое деление шкалы служит корректор 19. Устанавливают нулевое положение стрелки при разомкнутой цепи. На корпусе гальванометра расположены два зажима 8 и 14, к которым присоединяется фотоэлемент. Если освещенность превышает 500 лк, то на фотоэлемент надевается поглотитель 5, который увеличивает пределы измерения в 100 раз. Поглотитель состоит из двух нейтральных оргстекла молочного цвета и металлической решетки между ними, вмонтированных в металлическую рамку 6. Применяя поглотитель, можно увеличить верхний предел измерения освещенности до 50 000 лк.

Устанавливают люксметр горизонтально, стрелку гальванометра корректором подводят к нулю шкалы и затем, соблюдая полярность, подключают фотоэлемент к регистратору.

Измерения начинают с большого предела, чтобы уберечь приборы от перегрузок, постепенно переходя, если необходимо, на меньшие пределы, пока стрелка не окажется в рабочей части шкалы. Выждав 5 с на инерцию пары датчик — регистратор, отсчитывают освещенность. При этом показания стрелки относительно шкалы умножают на цену деления шкалы, которая равна 1/50 предела ее измерений, и на поправочный коэффициент, учитывающий, что является источником освещения.

| Источник света    | Поправочный коэффициент |
|-------------------|-------------------------|
| Естественный свет | 0,80                    |
| Лампы накаливания | 1,00                    |
| Лампы:            |                         |
| ЛД                | 0,88                    |
| ЛБ                | 1,15                    |
| ЛДЦ               | 0,95                    |
| ДРЛ               | 1,20                    |

При применении поглотителя полученное значение освещенности увеличивают в 100 раз.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение солнечной радиации пиранометром.** 1. Измеряют рассеянную и суммарную радиации пиранометром. 2. Рассчитывают приход прямой радиации на горизонтальную поверхность. 3. Записывают результаты измерений в таблицу 1.4.

Порядок наблюдений по пиранометру:  
накрывают приемную часть пиранометра крышкой и выжидают 60 с;

отсчитывают нулевое положение стрелки  $N_0'$  гальванометра с точностью до десятых долей деления шкалы;  
снимают крышку, затевают экраном термобатарею пиранометра и выжидают 60 с;  
отсчитывают показания гальванометра три раза с интервалами в 20 с  $N_1, N_2, N_3$ ;  
отводят теневой экран и выжидают 60 с;  
отсчитывают показания гальванометра три раза с интервалами в 20 с  $N_4, N_5, N_6$ ;  
накрывают приемную часть пиранометра крышкой и выжидают 60 с;  
отсчитывают нулевое положение стрелки гальванометра  $N_0''$ .

1.4. Форма таблицы для записи наблюдений по пиранометру

| Место нуля гальванометра    |         |                          | Рассеянная радиация (с экраном) |       |       | Суммарная радиация (без экрана) |       |       |
|-----------------------------|---------|--------------------------|---------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| $N_0'$                      | $N_0''$ | $\frac{N_0' + N_0''}{2}$ | $N_1$                           | $N_2$ | $N_3$ | $N_4$                           | $N_5$ | $N_6$ |
|                             |         |                          |                                 |       |       |                                 |       |       |
| Вычисление                  |         |                          |                                 |       |       |                                 |       |       |
| Рассеянная радиация         |         |                          | Суммарная радиация              |       |       |                                 |       |       |
| $\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$ |         |                          | $\frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}$     |       |       |                                 |       |       |
| $\pm \Delta N$              |         |                          | $\pm \Delta N$                  |       |       |                                 |       |       |
| $\frac{N_0' + N_0''}{2}$    |         |                          | $\frac{N_0' + N_0''}{2}$        |       |       |                                 |       |       |
| Сумма $N_d$                 |         |                          | Сумма $N_d$                     |       |       |                                 |       |       |
| Переводный множитель $a$    |         |                          | Переводный множитель $a$        |       |       |                                 |       |       |

Радиация, Вт/м<sup>2</sup>: рассеянная  $D$  ...; суммарная  $Q$  ...; прямая  $S$  ...

**Задание 2. Измерение солнечной радиации альбедометром.** 1. Измеряют суммарную и отраженную радиации альбедометром. 2. Рассчитывают альбедо действительной поверхности, %. 3. Записывают результаты измерений в таблицу 1.5.

Порядок наблюдений по альбедометру:  
накрывают приемную часть альбедометра крышкой и выжидают 60 с;

отсчитывают нулевое положение  $N_0'$  стрелки гальванометра с точностью до десятых долей деления шкалы;  
снимают крышку с альбедометра и выжидают 60 с;  
отсчитывают показания гальванометра три раза  $N_1, N_2, N_3$  с интервалами в 20 с;

поворачивают головку альбедометра вниз и выжидают 60 с; отсчитывают показания  $N_4, N_5, N_6$  гальванометра три раза с интервалами в 20 с; накрывают крышкой приемную часть альбедометра и выжидают 60 с; отсчитывают нулевое положение стрелки альбедометра  $N_0''$ ; записывают результаты измерений в таблицу 1.5.

1.5. Форма таблиц для записи наблюдений по альбедометру

| Место нуля гальванометра |       |                       | Суммарная радиация |       |       | Отраженная радиация |       |       |
|--------------------------|-------|-----------------------|--------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| $N_4$                    | $N_5$ | $\frac{N_4 + N_5}{2}$ | $N_1$              | $N_2$ | $N_3$ | $N_4$               | $N_5$ | $N_6$ |
|                          |       |                       |                    |       |       |                     |       |       |

Вычисление

| Суммарная радиация          |  | Отраженная радиация         |  |
|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| $\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$ |  | $\frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}$ |  |
| $\pm \Delta N$              |  | $\pm \Delta N$              |  |
| $\frac{N_0' + N_0''}{2}$    |  | $\frac{N_0' + N_0''}{2}$    |  |
| Сумма $N_Q$                 |  | Сумма $N_{R_k}$             |  |
| Переводный множитель $a$    |  | Переводный множитель $a$    |  |

Радиация, Вт/м<sup>2</sup>: отраженная ...; суммарная ...; альbedo  $[A = (R/Q)100 \%]$ ...

#### Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия термоэлектрического пирометра, альбедометра?
2. Как записать уравнение радиационного баланса днем в ясную и пасмурную погоду, ночью?
3. Что такое ФАР и как рассчитать коэффициент полезного использования ФАР (КПИ<sub>ФАР</sub>)? Чему равен КПИ<sub>ФАР</sub> на производственных, опытных посевах и каков его биологически возможный предел?
4. Какова роль солнечной радиации как незаменимого фактора среды обитания?
5. Какие естественные поверхности имеют наибольшее и наименьшее альbedo?
6. Как регулировать альbedo сельскохозяйственных угодий?

## Лабораторная работа 2 НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА

Температура почвы и воздуха — это один из основных и незаменимых факторов среды. Наряду с атмосферным и почвенным воздухом, солнечной радиацией и влагой тепло является определяющим фактором в жизнедеятельности флоры и фауны на Земле. От температуры почвы зависит скорость набухания и прорастания семян растений, интенсивность окислительных процессов в почве, эффективность применения удобрений, условия перезимовки озимых культур и многолетних растений. Температурный режим воздуха влияет на скорость роста и развития растений, интенсивность процессов фотосинтеза, дыхания, транспирации. Интервал между критическими отрицательными и положительными температурами для каждого вида растений определяет их ареал на планете.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

Основной источник энергии, регулирующий термический режим почвы, — суммарная радиация солнца и неба и встречное тепловое излучение атмосферы. Степень нагревания и охлаждения почвы зависит также от альbedo и характера подстилающей поверхности (рельефа, растительности, близости водоемов, снежного покрова и др.). Термический режим почвы зависит, кроме того, от ее теплофизических характеристик: теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности. Они, в свою очередь, связаны с плотностью, минеральным составом, гранулометрическим составом, влажностью почвы.

Для установки почвенных термометров выбирают горизонтальную ровную и незатеняемую площадку размером 4 × 6 м, удаляют растительный покров вместе с корневой системой и взрыхляют почву.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Температуру поверхности почвы измеряют жидкостными термометрами: срочным, максимальным и минимальным.

Все три термометра устанавливают в середине площадки резер-

вуарами на восток на расстоянии 10...15 см друг от друга. Легким нажатием вдавливают термометры в почву, располагая срочный и минимальный термометры горизонтально так, чтобы и резервуары, и наружная оболочка термометров были наполовину углублены в почву, а резервуары плотно с почвой соприкасались. Максимальный термометр устанавливают так же, но с небольшим наклоном в сторону резервуара. Перед термометрами во время наблюдений должен устанавливаться реечный настил. После окончания наблюдений реечный настил откидывается.

**Срочный термометр ТМ-3.** Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром и ценой деления шкалы 0,2 или 0,5 °С. Применяют для измерения температуры почвы в данный момент времени (в срок наблюдений).

Приемной частью (датчиком) любого жидкостного термометра является резервуар, где находится основная масса термометрической жидкости. Регистратором у жидкостного термометра служат шкала и капилляр, в котором движется мениск термометрической жидкости.

**Устройство срочного почвенного термометра** показано на рисунке 2.1. У срочного термометра резервуар 6 соединен с капилляром 5, где по верхнему краю мениска ртути (так как ртуть является несмачивающей жидкостью по отношению к стеклу) делают отсчет температуры.



Рис. 2.1. Срочный термометр ТМ-3:

1, 4 — крепление шкалы;  
2 — стеклянная оболочка;  
3 — шкала; 5 — капиллярная трубка; 6 — резервуар

Определив цену деления шкалы 3, измеряют фактическую температуру поверхности почвы в данный момент времени. Шкала термометра укреплена внутри стеклянной оболочки 2 термометра специальными упорами 1 и 4. Отсчет температуры проводят с точностью до 0,1 °С.

При **обработке** наблюдений в показание термометра вводят шкаловую поправку, взяв из поверочного свидетельства термометра. Алгебраическая сумма отсчета и шкаловой поправки дает исправленную (истинную) температуру поверхности почвы.

**Максимальный термометр ТМ-1.** Служит для измерения самой высокой, т.е. максимальной, температуры между двумя наблюдениями (между сроками наблюдений).

**Устройство** термометра показано на рисунке 2.2. Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром и ценой деления шкалы 0,5 °С. Максимальную отметку температуры термометр сохраняет вследствие впаивного в дно резервуара 1 стеклянного штифта 2, который своим вторым концом почти запи-

рает выход из резервуара в капилляр 3, создавая в этом месте настолько большую силу трения, что она превышает силы молекулярного сцепления ртути, и происходит разрыв столба ртути. Этот разрыв и придает термометру свойство максимальности. При повышении температуры ртуть, расширяясь, преодолевает силу трения в узком месте капилляра, проникая в него. Показания термометра, соответственно, возрастают. Но при понижении температуры ртуть из капилляра не может попасть обратно в резервуар, так как разрыв столба ртути не пускает ее туда, и показания термометра остаются на отметке максимальной температуры.



Рис. 2.2. Максимальный термометр ТМ-1:

1 — резервуар; 2 — штифт; 3 — капилляр

**Измерения** начинают с отсчета по шкале термометра до встряхивания с точностью до 0,1 °С — это и есть отсчет максимальной температуры, затем термометр встряхивают несколько раз, беря его за противоположную от резервуара часть оболочки, и отсчитывают показание термометра после встряхивания. Этот отсчет должен почти совпадать с показанием срочного термометра. Встряхиванием искусственно преодолевается сила трения в узком месте капилляра, и излишек ртути в капилляре, который равен разности максимальной и фактической температур, перегоняется из капилляра в резервуар.

При **обработке** наблюдений в показания термометра до и после встряхивания вводят шкаловые поправки из поверочного свидетельства термометра.

**Минимальный термометр ТМ-2.** Предназначен для измерения самой низкой температуры между сроками наблюдений.

**Устройство** термометра ТМ-2 показано на рисунке 2.3. Это спиртовой термометр с цилиндрическим резервуаром и ценой деления шкалы 0,5 °С. В капилляре 1 со спиртом находится штифт 2, выполненный из темного стекла с небольшими утолщениями на обоих концах. Масса штифта и его форма подобраны таким образом, чтобы штифт не преодолел силу поверхностного натяжения на границе спирта и воздуха. Диаметр штифта меньше внутреннего сечения капилляра, поэтому при повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, которому силы трения о стенки капилляра не позволяют двигаться вместе с потоком спирта. Таким образом, при повышении температуры положение штифта остается неизменным, а мениск спирта 3 показывает фактическую температуру в момент измерения. При понижении температуры спирт начинает перете-

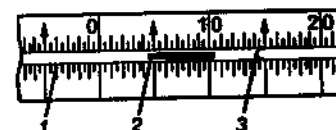


Рис. 2.3. Минимальный термометр ТМ-2:

1 — капилляр; 2 — штифт; 3 — мениск спирта

кать из капилляра в резервуар, и если мениск спирта доходит до штифта, то при дальнейшем понижении температуры он толкает штифт перед собой в сторону резервуара. Это продолжается до тех пор, пока температура понижается. При повышении температуры мениск спирта оставляет штифт на минимальной отметке, а сам перемещается по капилляру по мере роста температуры.

**Измерение** — отсчет минимальной температуры проводят по ближнему к мениску спирта концу штифта, сам мениск спирта всегда показывает фактическую температуру. При измерениях сначала отсчитывают показание по мениску спирта. Оно должно быть близко к показанию срочного термометра. Затем отсчитывают показание на штифте. Оба отсчета выполняют с точностью до 0,1 °C.

При *обработке* наблюдений в эти отсчеты из поверочного свидетельства вводят шкаловые поправки. Кроме того, вводят еще добавочную поправку, представляющую собой осредненную за месяц разность между показаниями по мениску спирта минимального термометра и срочного ртутного термометра.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ

**Коленчатые термометры Савинова.** Для измерения температуры почвы в верхнем пахотном горизонте применяют коленчатые термометры Савинова. В комплект входят четыре термометра, устанавливаемые на глубинах 5, 10, 15, 20 см.

**Устройство коленчатых термометров** показано на рисунке 2.4. Это ртутные термометры с цилиндрическим резервуаром, с ценой деления шкалы 0,5 °C. Термометр немного выше резервуара изо-

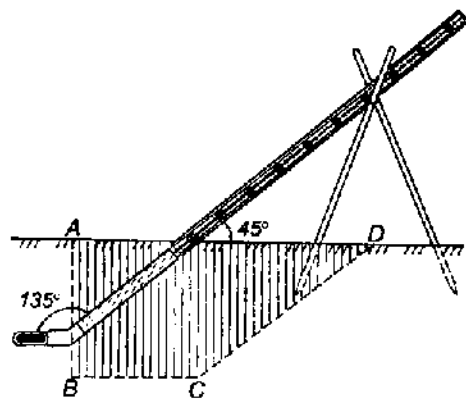


Рис. 2.4. Установка коленчатых термометров ТМ-5

гнуто под углом 135°. Нижняя часть стеклянной защитной оболочки термометра (от резервуара до начала шкалы) заполнена теплоизоляцией — ватой с сургучными перемычками. Теплоизоляция уменьшает влияние температуры слоев почвы выше резервуара термометра на его показание, т. е. термометр измеряет только ту температуру почвы, где расположен резервуар.

**Установку** коленчатых термометров проводят весной после схода снежного покрова и оттаивания почвы в середине почвенной площадки к западу от термометров для измерения температуры поверхности почвы на расстоянии 20...30 см от них. Выступающие из почвы верхние части термометров со шкалами располагают с востока на запад в порядке возрастания глубин в 10 см друг от друга. Перед установкой коленчатых термометров выкапывают траншею в виде трапеции *ABCD* (см. рис. 2.4) по линии восток — запад с отклонением от этой линии к северу на 30°. Сторона *AB* траншеи вертикальная. В этой стенке траншеи делают углубления. Сначала устанавливают термометр на глубину 20 см, присыпают землей, затем аналогично на глубины 15, 10 и 5 см. После установки почвы, где располагают термометры, поливают водой для уплотнения грунта. На следующий после установки день можно начинать наблюдения по коленчатым термометрам. При правильной установке верхняя часть термометров имеет угол наклона к поверхности почвы, равный 45° (такой угол наклона наиболее удобен при измерениях), а резервуары термометров находятся в горизонтальном положении на глубине установки.

**Измерения** по термометрам проводят слева направо последовательно. Надземная часть всех четырех термометров ничем не отличается друг от друга, термометры различаются лишь по длине подземной части. Поэтому при стандартной установке температуру почвы измеряют на глубинах 5, 10, 15, 20 см. Отсчеты по термометрам выполняют с точностью до 0,1 °C.

При *обработке* наблюдений в показание каждого термометра вводится шкаловая поправка из поверочного свидетельства.

По окончании теплого сезона во избежание поломки коленчатые термометры осторожно выкапывают из почвы и убирают на зиму.

**Термометр-шуп** АМ-6 (походный термометр). Предназначен для измерения температуры почвы на глубинах до 40 см в полевых условиях.

**Устройство** термометра-шупа показано на рисунке 2.5. Датчиком (приемной частью) прибора является резервуар, находящийся в конусообразном наконечнике 6. Сам термометр 2 помещен в металлическую оправу 4 для придания конструкции необходимой жесткости. Эбонитовая прокладка 5 служит термоизоляцией, чтобы верхние слои почвы не влияли на показания термометра. Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра все пространство между резервуаром и наконечником заполняют



Рис. 2.5. Термометр-труба АМ-6:

1 — ручка; 2 — термометр; 3 — прорезь; 4 — оправа; 5 — прокладка; 6 — наконечник

медными опилками. Шкала и показание термометра видны через прорезь 3 в металлической оправе. Чтобы погрузить термометр в почву, верхний конец оправы снабжен круглой ручкой 1. Ниже прорези на оправе термометра нанесена шкала глубины в сантиметрах, начиная с нуля, который совпадает с положением резервуара в наконечнике.

Термометрическая жидкость в термометре — толуол (метилбензол).

Для измерения температуры термометр погружают вертикально на необходимую глубину и, выждав 10...15 мин на инерцию прибора, производят отсчет, не вынимая термометр из почвы. Шкаловые поправки в показания термометра не вводятся. Точность отсчета равна 1 °С и совпадает с ценой деления шкалы походного термометра. В практической работе в поле такая точность вполне приемлема. Последние модели термометров имеют пластмассовый корпус.

Термометр применяется в период от оттаивания до замерзания почвы.

**Термометры почвенные вытяжные (ТПВ-50).** Используют для измерения

температуры почвы на глубинах 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320 см круглый год под естественным травостоем. Можно применять для контроля температуры в силосных ямах и буртах.

**Устройство** термометра показано на рисунке 2.6. Он представляет собой стандартный срочный почвенный термометр 2, помещенный в металлическую оправу 3 для защиты от механических повреждений. Нижний конец оправы оканчивается медной пластинкой 1. Для придания термометру большей инерции пространство между резервуаром термометра и нижней частью оправы заполняют медными опилками. Обладая большой массой и теплопроводностью, они обеспечивают термометру инерционность и теплопередачу от почвы через медную пластинку к резервуару. Выше металлической оправы находится деревянная или пластиковая надставка 4, длину которой рассчитывают исходя из глубины установки термометра. Верхний конец надставки заканчивается колпачком 5 с кольцом.

Термометр в оправе с надставкой опускают в эбонитовую (пластиковую) трубу 6 с такой же металлической медной пластинкой 7 на нижнем конце трубы. Длину надставки рассчитывают таким образом, чтобы при погружении термометра в трубу обе мед-



Рис. 2.6. Термометр вытяжной ТПВ-50:

1, 7 — медные пластинки; 2 — термометр; 3 — оправа; 4 — деревянная надставка; 5 — колпачок с кольцом; 6 — эбонитовая труба

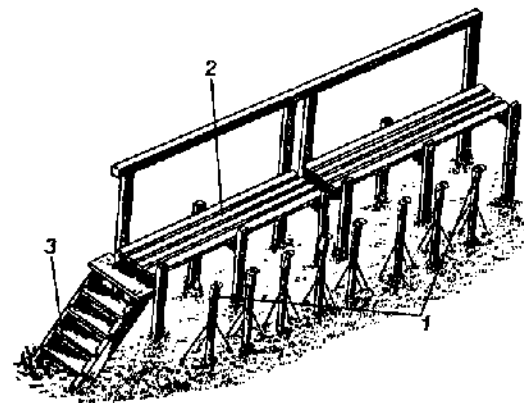


Рис. 2.7. Установка вытяжных термометров:

1 — термометры; 2 — откидной помост; 3 — лесенка

ные пластинки плотно соприкасались, обеспечивая теплопередачу от почвы к резервуару термометра, но при этом основная тяжесть термометра с надставкой приходилась бы на колпачок, который опирается на верхний конец трубы и закрывает трубу сверху, препятствуя попаданию туда осадков, пыли и атмосферного воздуха.

При установке вытяжных термометров с помощью бура делают скважины необходимой глубины на открытом месте с естественным травостоем на расстоянии 3...4 м к востоку от коленчатых термометров. Скважины делают в один ряд в 0,5 м друг от друга с востока на запад по мере возрастания глубины. Трубы должны выступать после их погружения в скважины на высоту, превышающую максимальную высоту снежного покрова зимой. В трубы опускают термометры. С севера от термометров устраивают откидной помост (рис. 2.7) на высоте, равной высоте надземной части труб. Помост необходим для избежания уплотнения почвы (снега) при измерениях. После измерений помост откидывают в вертикальное положение.

При измерениях термометр вынимают (вытягивают, отсюда и название термометров) из трубы. Сначала отсчитывают десятые доли, затем целые градусы. На глубинах 20, 40, 60 см в теплый пе-

риод года наблюдения проводят в единые сроки. На глубинах от 80 до 320 см — 1 раз в сутки. Зимой, когда высота устойчивого снежного покрова достигнет 15 см и более, наблюдение на глубинах 20, 40, 60 см проводят 1 раз в сутки. Указанные ограничения и число наблюдений связаны с глубиной проникновения суточных колебаний температуры почвы и при отсутствии, и при наличии снежного покрова.

При *обработке* наблюдений в измеренные значения температур вводят шкаловые поправки из поверочных свидетельств термометров.

**Электрические почвенные термометры.** Применяют при измерении температуры верхнего пахотного слоя почвы на глубине узла кушения и при агрометеорологических наблюдениях.

Транзисторный электротермометр ТЭТ-2. Предназначен для измерения температуры верхнего пахотного слоя почвы в теплый сезон года либо для измерения температуры в буртах.

Устройство термометра показано на рисунке 2.8. Его датчиком

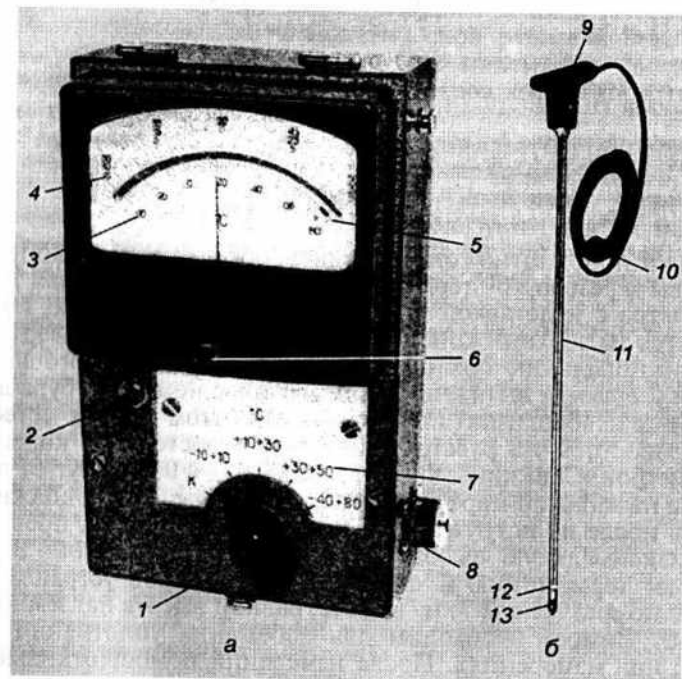


Рис. 2.8. Термометр ТЭТ-2:

а — пульт; б — датчик; 1 — ручка переключения; 2 — кнопка включения; 3, 4 — шкалы; 5 — сектор контроля питания; 6 — корректор; 7 — диапазоны; 8 — розетка; 9 — рукоятка; 10 — кабель; 11 — металлическая трубка; 12 — втулка; 13 — наконечник

является термотранзистор (термистер), находящийся внутри наконечника 13, который через теплоизоляционную втулку 12 насажен на металлическую трубку 11 длиной 0,5 м и соединен с кабелем 10. Кабель через розетку 8 подключают к регистратору. Измеритель имеет внутри корпуса источник питания — гальванический элемент. Регистратор снабжен двумя шкалами: 3 — для грубых измерений с пределами от -40 до 80 °C; 4 — для более точных измерений с пределами от -10 до 10 °C, от 10 до 30 °C и от 30 до 50 °C. Устанавливают регистратор на ту или иную шкалу ручкой переключения 1 диапазонов измерения 7.

Устанавливают датчик температуры почвы вертикально с помощью рукоятки 9 на необходимую глубину. Шкала глубины нанесена на трубке, ноль совпадает с наконечником, где находится датчик. Кабель датчика через штырьковый разъем подключают к регистратору, установленному горизонтально.

Перед измерениями стрелку прибора устанавливают на ноль с помощью корректора 6. Кнопкой 2 включают питание регистратора, переключатель диапазонов 1 устанавливают в положение К и проводят контроль питания. При этом стрелка прибора должна показывать на сектор контроля питания 5. Если при контроле стрелка располагается левее сектора 5, то надо заменить элемент питания. После этого приступают к измерениям. Сначала переключатель диапазонов ставят в положение -40...80 °C и делают грубый отсчет температуры. Отсчет делают через 1 мин по нижней шкале прибора. Более точный отсчет получают переключением диапазонов на тот, куда попадает первоначальный грубый отсчет. Измерения при этом проводят по верхней шкале. ТЭТ-2 прибор относительно точный. Погрешность грубых измерений составляет ±2 °C, более точных — ±0,5 °C.

Электротермометр сопротивления АМ-2М-1. Применяют для измерения температуры почвы на глубине узла кушения озимых культур в холодный сезон года.

Принцип действия основан на зависимости электросопротивления медного датчика от температуры почвы:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (2.1)$$

где  $R_t$  — сопротивление при температуре  $t$ , °C;  $R_0$  — сопротивление при температуре 0 °C;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления.

Для меди при температуре 18 °C температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 42,8 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>.

Устройство электротермометра показано на рисунке 2.9. Датчик 1 — медный проводник, заключен в латунную гильзу. Посредством кабеля 2 с помощью вилки 3 его подсоединяют к измерительному пульту 5. Измеритель — микроамперметр 7 со шкалой с диапазонами от -5 до 45 °C (верхний) и от 5 до -35 °C (нижний). Корректор 6 служит для установки стрелки регистратора в

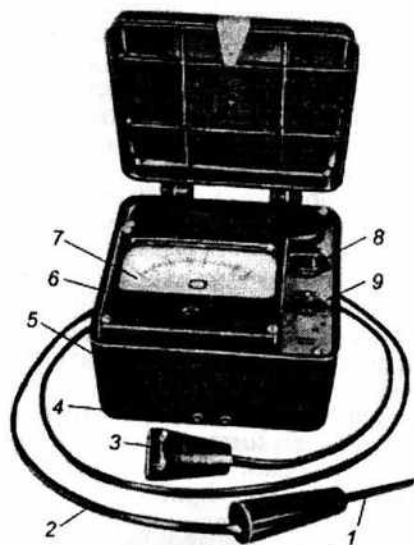


Рис. 2.9. Электротермометр сопротивления АМ-2М-1:

1 — датчик; 2 — кабель; 3 — вилка; 4 — розетка; 5 — измерительный пульт; 6 — корректор; 7 — микроамперметр; 8 — ручка реостата; 9 — переключатель

датчики располагают на разных формах рельефа: на ровных участках, на склонах, различных по крутизне и экспозиции, на вершинах холмов, в пониженных формах рельефа. Это требование объясняется неравномерным залеганием снежного покрова за счет ветрового переноса, а температура на глубине узла кущения (3...5 см) зимой тесно связана с высотой и плотностью снежного покрова.

Чтобы установить датчик, надо в междурядье выкопать канавку глубиной 3 см, шириной 5...8 см и длиной 150 см, куда укладывают вдоль датчик и кабель. Оставшуюся часть кабеля с вилкой, длина которой должна превышать максимальную высоту снежного покрова, закрепляют на стойке с подставкой для установки переносного пульта. Затем канавку засыпают землей.

При измерении температуры датчик подключают к пульту, который горизонтально устанавливают на подставку. Корректором 6 стрелку микроамперметра подводят к делению 5 °C верхнего диапазона шкалы. Переведя переключатель диапазонов в положение К (контроль напряжения), ручкой реостата стрелку устанавливают на делении шкалы 45 °C. Затем переключатель сначала ставят в

начальное положение. Ручкой реостата 8 регулируют напряжение питания, а переключателем диапазонов 9 устанавливают пульт в то или иное рабочее положение. Через розетку 4, расположенную на передней стенке пульта, вилку кабеля с датчиком подключают к регистратору. Внутри корпуса пульта находится источник питания (гальванические элементы).

Установку датчиков (10 штук в комплекте) проводят после посева озимых культур в междурядье. Датчики закладывают и находятся в почве весь холодный сезон до схода снежного покрова и оттаивания почвы. Датчики устанавливают на полях с различными озимыми культурами, так как уровень их критических низких температур существенно различается. Если местность, где расположены сельскохозяйственные угодья, пересеченная, то



Рис. 2.10. Термометр электронно-цифровой АМТ-2:

1 — пульт измерения температуры (ПИТ); 2 — датчик температурный шуп (ДТШ); 3 — датчик температурный стационарный (ДТС)

положение В (выключено), потом в положение И (измерение) и проводят отсчет температуры в целых градусах. В зимний сезон года пользуются нижним диапазоном шкалы (от 5 °C до -35 °C). Погрешность измерений  $\pm 1$  °C. Шкаловые поправки в показания микроамперметра не вводят.

Термометр электронно-цифровой АМТ-2. Предназначен для измерения температуры почвы при агрометеорологических наблюдениях (рис. 2.10).

Термометр разработан и изготовлен в Центральном конструкторском бюро гидрометеорологического приборостроения (г. Обнинск). Сертификат выдан Госстандартом РФ в 2001 г.

В комплект термометра входят: пульт измерения температуры ПИТ (1 шт.), датчик температурный шуп ДТШ (2 шт.), датчик температурный стационарный ДТС (2 шт.).

Термометр обеспечивает измерение, запоминание, отображение в цифровом виде значений температуры.

Диапазон измерения температуры от  $-50$  до  $60$  °C.

Предел допускаемой погрешности измерения температуры  $\pm 0,2$  °C.

Цена единицы младшего разряда цифрового отображения информации на индикаторе  $0,01$  °C.

Энергопитание ПИТ обеспечивается от встроенного автономного источника питания, напряжение питания  $7...9$  В.

В термометре предусмотрен контроль напряжения питания. При напряжении ниже нормы на индикаторе высвечивается надпись « $I_b < \text{нормы}$ »,  $I_b = xxB$ .

Продолжительность безотказной работы термометра не менее  $10\,000$  ч, срок службы не менее  $8$  лет.

Устройство термометра — автоматизированное средство измерения температуры, выполненное на базе программно-технических средств.

Для измерения температуры почвы используют датчики ДТС и ДТЩ, преобразующие температуру в пропорциональное ей значение электросопротивления.

Датчики изготовлены на основе микропленочного платинового термометра сопротивления с номинальным сопротивлением  $100$  Ом и заключены в герметичный корпус из нержавеющей стали.

Пульт измерения температуры — переносной прибор. Внутри корпуса размещены плата контроллера и встроенный источник питания. На лицевой панели ПИТ расположены цифровой индикатор, кнопки управления «0 — 9», «\*», «#», «A», «B», «C», «D».

На корпусе ПИТ расположены также разъемы «ДТС» и «ДТЩ» для подключения датчиков ДТС и ДТЩ соответственно и разъем «RS232» для подключения к персональному компьютеру (ПК).

ПИТ предназначен для выбора режима работы термометра, преобразования электросопротивления датчика температуры в соответствующее ему значение напряжения, обработки результатов измерения и вывода значений температуры на цифровой индикатор, хранения последнего результата измерений по каждому датчику в энергонезависимом запоминающем устройстве и вывода их на цифровой индикатор по команде оператора, передачи массива информации в ПК.

Термометр работает в двух режимах: «измерение» и «считывание», причем к пульту ПИТ можно подключить одновременно только один датчик ДТС и один датчик ДТЩ, остальные подключают к ПИТ поочередно.

В режиме «измерение» термометр работает следующим образом: включение питания нажатием кнопки «A», при этом на цифровом индикаторе высвечивается надпись «АИТ-2 готов» (нажатие любой кнопки сопровождается звуковым сигналом);

ввод номера датчика кнопками «1» — «2» (номер датчика указан на вилке соединительного провода); для ДТЩ дополнительно вводится номер измерения «И»--;

при отсутствии датчика или обрыве в линии связи на цифровом индикаторе высвечивается надпись «ДТЩ (ДТС) откл.»;

после определения типа и наличия датчика происходит автоматическое измерение температуры с интервалом  $2$  с и вывод информации на цифровой индикатор: верхняя строка — информация от ДТС, нижняя — от ДТЩ;

для записи информации в память надо нажать кнопку «B», в энергонезависимое запоминающее устройство записывается последнее измеренное значение температуры по данному датчику, что подтверждается двумя звуковыми сигналами и надписью на индикаторе «записано». При одновременном подключении ДТС и ДТЩ надо сначала записать в память или сбросить кнопкой «D» информацию от одного из датчиков, а затем начать измерение с другим датчиком;

отключение питания осуществляется повторным нажатием кнопки «A» либо автоматически через  $30$  с после последнего нажатия любой кнопки, при этом в запоминающем устройстве хранятся последние измеренные значения температуры по каждому датчику.

В режиме «считывание» термометр работает следующим образом:

после включения питания кнопкой «A» нажать кнопку «C», выбрать номер датчика кнопками «\*» для ДТС и «#» для ДТЩ (для ДТЩ дополнительно вводят номер участка);

на цифровом индикаторе высвечивается записанное в память значение температуры по выбранному датчику: верхняя строка — ДТС, нижняя — ДТЩ;

при отсутствии информации по данному датчику на цифровом индикаторе появится надпись « $T=-,-,-$ ».

Очистка памяти (сброс данных) проводится в режиме «считывание» нажатием кнопки «D», при этом на индикаторе появится надпись: «сбросить данные?». «Да» — нажать кнопку «D», наблюдать на экране надпись «Очистка», «Нет» — нажать любую другую кнопку.

Для считывания информации из термометра надо подключить термометр к ПК с помощью кабеля, входящего в комплект. Имеется возможность скопировать с дискеты программной поддержки, входящей в комплект, программу «Setur AMT-2» в стартовое меню ОС Windows, загрузить программу «Setur AMT-2» и наблюдать на экране монитора таблицу данных.

Для передачи информации из термометра в ПК нажимают экранную кнопку «Прием», расположенную над таблицей.

Пользователь может сохранить информацию в файле; открыть любой из ранее сохраненных файлов; распечатать таблицу данных.

Установку датчиков ДТС на наблюдательном участке проводят осенью. Для этого в почве выкапывают канавку глубиной 3 см, шириной 8...10 см и длиной 1,5 м. Датчик вместе с проводом на дно канавки укладывают горизонтально. Свободный конец провода с разъемом надо закрепить на стойке, разъем должен быть закрыт заглушкой. Канавку следует засыпать землей и уплотнить до плотности окружающей почвы.

При измерениях необходимо снять заглушку с разъема датчика, подсоединить его к розетке «ДТС» ПИТ. Включить кнопкой «А» питание, набрать с помощью кнопок «1», «2» номер датчика ДТС, указанный на вилке соединительного провода. При этом в верхней строке цифрового табло высветится значение измеренной температуры. Для записи температуры в память надо нажать кнопку «В». Затем отсоединить разъем ДТС от ПИТ и надеть заглушку. Выкапывать датчики весной можно лишь при талой почве.

При измерении температуры с использованием ДТЩ необходимо снять заглушку с разъема датчика и подключить его к розетке «ДТЩ» ПИТ. Заглубить наконечник ДТЩ в почву вертикально на необходимую глубину и выдержать паузу в 1 мин. Кнопкой «А» включить питание и набрать кнопками «1» и «2» номер ДТЩ, указанный на вилке соединительного провода, ввести номер участка кнопками «0 — 9». При этом в нижней строке на цифровом индикаторе высвечивается значение температуры почвы. Для записи этого значения в память нажимают кнопку «В». После этого отсоединяют разъем ДТЩ от ПИТ и надевают заглушку.

Считывание информации из памяти ПИТ описано ранее.

Датчики ДТС и ДТЩ после окончания наблюдений следует тщательно промыть водой и осмотреть. Не должно быть механических повреждений датчиков, разъемов и изоляции соединительных проводов. Контакты разъемов ПИТ и датчиков необходимо промывать этиловым техническим спиртом.

Если при контроле напряжения питания на цифровом табло высвечивается надпись « $I_6 < \text{нормы}$ », то следует зарядить аккумуляторные батареи ПИТ с помощью зарядного устройства или заменить элемент питания.

## ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ

Само понятие «мерзлая почва» сформулировано Сумгиным, им предложен такой температурный критерий: «мерзлой почвой называется такая почва, температура которой ниже нуля, при этом совершенно не принимается во внимание, содержится ли в почве

вода и в каком количестве или ее вовсе не содержится». Большое распространение в практике получил механический критерий: «почва считается мерзлой, если она перешла в каменистое состояние и не поддается обработке».

Глубину промерзания почвы обуславливают: суровость и продолжительность зимы; высота снежного покрова; растительный покров или его отсутствие; тепловые свойства почвы; влажность почвы.

Весной мерзлая почва оттаивает сверху под влиянием прогрева поверхности и снизу за счет притока тепла от нижележащих слоев почвы.

**Мерзлотомер Данилина МД-50 (АМ-21-1).** Для оценки условий перезимовки растений необходимы измерения глубины промерзания и оттаивания почвы. Их проводят с помощью мерзлотомера Данилина МД-50 (АМ-21-1). Прибор имеет предел измерений до 150 см, такова и длина шкалы с ценой деления 1 см. Высота надземной части 40 см. Положение нулевого деления шкалы на уровне поверхности земли.

Устройство мерзлотомера Данилина показано на рисунке 2.11. Мерзлотомер состоит из резиновой трубки 1 длиной 150 см, на которой нанесены деления глубины промерзания в сантиметрах, и водонепроницаемой винипластовой трубы 5, закрытой с нижнего конца. На трубе, которая после установки прибора выступает из почвы, нанесены в сантиметрах деления высоты снежного покрова.

Резиновую трубку заполняют дистиллированной водой и с обоих концов закрывают ниппелями. Внутри трубки находится капроновый шнур с узелками, который не дает перемещаться образовавшемуся льду. Верхний конец трубки присоединяют с помощью шнура 2 и гильзы 3 к колпачку 4 с кольцом, закрывающим защитную трубку.

Мерзлотомер устанавливают в почву на метеоплощадке или на посевах озимых культур за одну-две декады до первых заморозков в 2...3 м от термометра АМ-2М-1. Почвенным буром проделывают

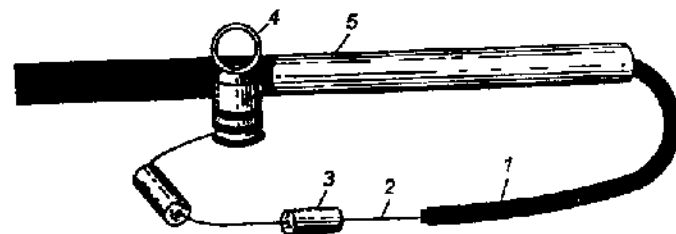


Рис. 2.11. Мерзлотомер Данилина МД-50 (АМ-21-1):

1 — резиновая трубка с ниппелями на концах; 2 — шнур; 3 — гильза; 4 — колпачок с кольцом; 5 — защитная винипластовая труба (с заглушкой)

скважину до глубины 1,5 м, затем в нее опускают защитную трубу таким образом, чтобы нуль на шкале трубы совпал с уровнем поверхности почвы. Все пространство между трубой и стенками скважины тщательно засыпают землей. Надземную часть трубы укрепляют растяжками. После этого в трубу опускают резиновую трубку, заполненную водой и связанную шнуром с колпачком.

Наблюдения по мерзлотомуру начинают от наступления первых осенних заморозков и ведут их всю зиму вплоть до полного оттаивания почвы. При определении глубины промерзания почвы резиновую трубку вытягивают за кольцо колпачка из защитной трубки и двумя пальцами прощупывают резиновую трубку сверху вниз, определяя нижнюю границу столбика льда в трубке. Деление шкалы на поверхности трубки, совпадающее с этой границей, указывает глубину промерзания почвы. После ее измерения резиновую трубку опускают в защитную трубу. Одновременно с измерением глубины промерзания почвы измеряют высоту снежного покрова.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Для измерения температуры воздуха применяют три термометра: психрометрический сухой (срочный), максимальный и минимальный. Для непрерывной регистрации температуры воздуха служат суточный и недельный термографы. Назначение, устройство и использование максимального и минимального термометров изложены ранее.

**Психрометрический термометр ТМ-4.** Психрометрический сухой (срочный) термометр является частью прибора — стационарного психрометра (психрометра Августа), который служит для измерения температуры и влажности воздуха.

Психрометрический сухой термометр — это абсолютный прибор для измерения температуры воздуха. Все остальные термометры и термограф — приборы относительные.

**Устройство** показано на рисунке 2.12. Срочный термометр — это ртутный термометр с шаровидным резервуаром и ценой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Инерция термометра в неподвижном воздухе составляет  $\sim 5$  мин. Термометр устанавливают в психрометрической будке в вертикальном положении. Для этого на верхнем конце стеклянной оболочки термометра укреплен при помощи сургуча металлический колпачок.

**Установка** срочного, максимального и минимального термометров показана на рисунке 2.13.

**Психрометрическая будка БП-1.** Температуру воздуха в метеорологии никогда не измеряют «на солнце». Ее измеряют внутри защитной психрометрической будки, которая защищает находящиеся внутри нее приборы от воздействия трех внешних факто-

ров: прямой солнечной радиации, осадков и ветра.

**Устройство будки** показано на рисунке 2.13. Стенки и дверца психрометрической будки 1 представляют собой двойные жалюзи, расположенные под углом  $45^{\circ}$  к горизонту на расстоянии 2,5 см друг от друга. Через боковые стенки и дверцу воздух легко проникает внутрь будки, но скорость движения воздуха внутри гасится до нуля. Потолок будки сплошной, над потолком находится наклонная крыша, дно будки состоит из трех досок, между которыми есть зазоры для проникновения воздуха. Будка изготовлена из дерева, окрашенного в белый цвет. Такая поверхность обладает высоким альбедо, почти не нагревается. Дерево к тому же — хороший теплоизолятор. Поэтому поток тепла от внешней поверхности будки внутрь мал, и им при измерениях температуры можно пренебречь. Крыша, сплошной потолок, жалюзийные боковые стенки и дверца надежно защищают приборы от осадков.

Будку ориентируют дверцей на север (в северном полушарии, в южном — наоборот), чтобы при измерениях на термометры не попадали прямые солнечные лучи, и укрепляют на металлической подставке 2 высотой 175 см. Таким образом резервуары всех термометров оказываются на высоте 2 м над поверхностью почвы. Этот стандарт соблюдают на всех наземных метеостанциях Земли. Около будки устанавливают лесенку 3, не опирающуюся на стойки будки, с которой наблюдатель легко делает отсчеты. Для проведения наблюдений в ночное время внутри будки предусмотрена подсветка маломощными лампами накаливания ( $\leq 25$  Вт). Напряжение на подсветку подается через понижающий трансформатор и составляет 24 В. Будка должна стоять открыто, не затеняться и не иметь по соседству каких-либо предметов: зданий, деревьев и др.

**Установка термометров** показана на рисунке 2.14. Внутри будки к средней доске



Рис. 2.12. Психрометрический термометр ТМ-4:

1 — резервуар; 2 — капилляр; 3 — шкала; 4 — стеклянная оболочка

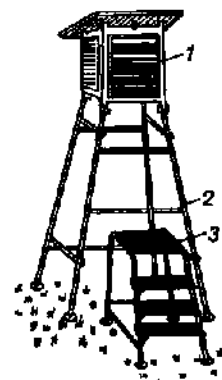


Рис. 2.13. Психрометрическая будка БП-1:

1 — будка; 2 — подставка; 3 — лесенка

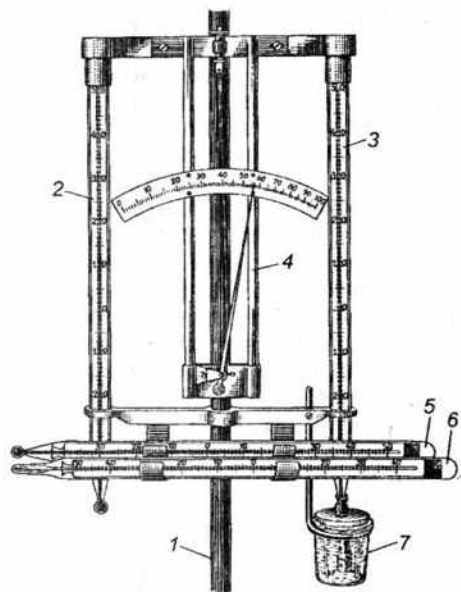


Рис. 2.14. Установка приборов в психрометрической будке:

1 — штатив; 2, 3 — сухой и смоченный психрометрические термометры; 4 — волосной гигрометр; 5, 6 — максимальный и минимальный термометры; 7 — стаканчик

Максимальному термометру его встряхивают, подготавливая к следующему наблюдению. После встряхивания он должен показывать температуру, близкую к показанию сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на место.

Минимальный термометр после измерений наклоняют резервуаром вверх и подводят штифт к мениску спирта. Затем, держа термометр горизонтально, его укладывают на кронштейн. Таким образом термометр подготавливают к следующему наблюдению.

При обработке наблюдений в показания всех трех термометров необходимо вводить шкаловые поправки из поверочных свидетельств приборов.

Термограф метеорологический с биметаллическим элементом М-16АС. Для непрерывной записи изменений температуры воздуха за сутки или за неделю в метеорологии применяют самописцы — суточный и недельный термографы, они отличаются лишь угловой скоростью вращения барабана. Прибор представляет со-

бой конструкцию из биметаллического датчика, передающей части и барабана с часовым механизмом и закрепленной на нем диаграммной лентой. Вращаясь, барабан обеспечивает развертку температуры во времени — термограмму.

Устройство термографа показано на рисунке 2.15. Приемной частью (датчиком) термографа является биметаллическая пластинка 7, состоящая из двух слоев разнородных металлов: инвара и стали (инвар — сплав железа с никелем, сталь — сплав железа с углеродом). Эти два металла спаяны по плоскости в одну биметаллическую пластину. Инвар и сталь отличаются друг от друга термическим коэффициентом линейного расширения, поэтому при изменении температуры воздуха биметаллическая пластинка сгибается или разгибается. Таким образом, принцип измерения температуры у прибора — деформационный. Один конец биметаллической пластинки крепят неподвижно на кронштейне 4 с наружной стороны футляра термографа, этот кронштейн соединен с кронштейном 9 внутри футляра. Другой конец пластинки свободный. Проволочная защита 8 обеспечивает защиту наружной части конструкции от механических повреждений.

При измерениях, открыв дверцу будки, быстро отсчитывают десятки доли, а затем целые градусы по сухому психрометрическому термометру с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Затем проводят наблюдения по максимальному и минимальному термометрам с такой же точностью. После отсчета по мак-

симальному термометру его встряхивают, подготавливая к следующему наблюдению. После встряхивания он должен показывать температуру, близкую к показанию сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на место.

Максимальному термометру его встряхивают, подготавливая к следующему наблюдению. После встряхивания он должен показывать температуру, близкую к показанию сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на место.

При измерениях, открыв дверцу будки, быстро отсчитывают десятки доли, а затем целые градусы по сухому психрометрическому термометру с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Затем проводят наблюдения по максимальному и минимальному термометрам с такой же точностью. После отсчета по мак-

симальному термометру его встряхивают, подготавливая к следующему наблюдению. После встряхивания он должен показывать температуру, близкую к показанию сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на место.

Максимальному термометру его встряхивают, подготавливая к следующему наблюдению. После встряхивания он должен показывать температуру, близкую к показанию сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на место.

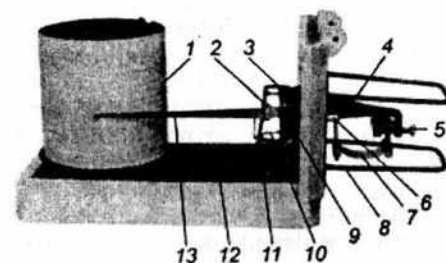


Рис. 2.15. Термограф М-16АС:

1 — барабан; 2 — тяга; 3 — рычаг; 4, 9 — кронштейны; 5 — винт; 6 — кнопка; 7 — биметаллическая пластинка; 8 — проволочная защита; 10 — изогнутый рычаг; 11 — арретир; 12 — плата; 13 — стрелка с пером

ностью почвы. Перед установкой ключом заводят пружину часового механизма до отказа, ленту плотно оборачивают вокруг барабана так, чтобы ее края накладывались друг на друга с учетом надписи на одном из краев «закладывать под противоположный конец». Наложённые друг на друга края ленты совмещают с прорезью на барабане и закрепляют ее лентодержателем. Барабан с лентой надевают на неподвижную ось, поворотом арретира 11 к ленте подводят стрелку с пером. Устанавливают перо на время (зимнее московское или Гринвичское) вращением барабана вокруг неподвижной оси, а на температуру — установочным винтом 5, опираясь на показание срочного термометра, после этого крышку термографа закрывают.

**Обработка наблюдений** за температурой воздуха по термографу имеет цель получить точное значение температуры за каждый час (у суточного самописца). Термограф — прибор относительный, его показания сравнивают с показаниями абсолютного прибора — сухого психрометрического термометра. Для этого на ленте суточного термографа нажатием кнопки 6 через каждые 3 ч в сроки наблюдений делают засечки — вертикальные черточки. В эти сроки проводятся измерения температуры воздуха по срочному термометру.

Лента термографа имеет шкалу времени и три температурных шкалы (рис. 2.16). Цена деления по времени у суточных лент — 15 мин, у недельных — 2 ч. Три шкалы температуры имеют одинаковую цену деления  $1^{\circ}\text{C}$ . Отличаются шкалы тем, что  $0^{\circ}\text{C}$  смещен у соседних шкал на  $10^{\circ}\text{C}$  и они, таким образом, имеют разные пределы измерения. Левая шкала — от  $-45$  до  $35^{\circ}\text{C}$ , средняя — от  $-35$  до  $45^{\circ}\text{C}$ , правая — от  $-25$  до  $55^{\circ}\text{C}$ . При работе используют ту шкалу, которая соответствует уровню экстремальных температур летом и зимой в данной местности.

На лицевой стороне ленты после ее снятия для **обработки** имеется термограмма с засечками через каждые 3 ч — это и есть опорные точки для обработки ленты. Под термограммой карандашом записывают показания термографа за каждый час с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . В сроки наблюдений, совпадающие с засечками (12, 15, 18, 21, 00, 03, 06, 09 ч), на ленте карандашом записывают показания срочного термометра и подчеркивают карандашом (нижняя строчка). В эти сроки, сравнивая показания термометра и термографа, находят поправку как разность этих показаний с тем или иным знаком. Эту поправку записывают на ленте между отсчетами по термографу и по термометру. Чтобы найти поправки к термографу в промежутках между сроками, когда наблюдений по термометру нет, применяют метод интерполяции. Например, рассмотрим трехчасовой интервал. В 21 ч показание термографа было  $9,8^{\circ}\text{C}$ , термометра  $9,6^{\circ}\text{C}$ , поправка составила  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . В 00 ч термограф показал  $5,5^{\circ}\text{C}$ , термометр тоже  $5,5^{\circ}\text{C}$ , поправка  $0,0^{\circ}\text{C}$ . В 22 ч термограф показал  $9,0^{\circ}\text{C}$ , в 23 ч —  $6,7^{\circ}\text{C}$ . Найдем поправку в

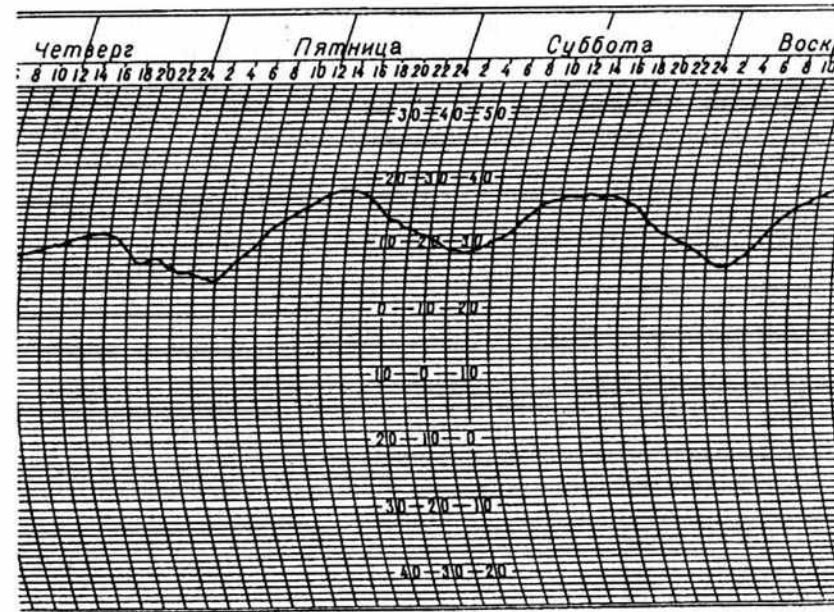


Рис. 2.16. Образец записи на ленте термографа

22 и 23 ч. Для этого вычисляют разность поправок в 21 ч и в 00 ч. Она равна  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Делим разность на 3 ч:  $0,2^{\circ}\text{C} : 3 \approx 0,07^{\circ}\text{C}$ . Теперь, чтобы найти поправку в 22 ч, к поправке в 21 ч ( $-0,2^{\circ}\text{C}$ ) прибавляют  $0,07^{\circ}\text{C}$  и получают  $-0,13^{\circ}\text{C}$ , т. е. округленно —  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Далее к  $-0,13^{\circ}\text{C}$  прибавляют  $0,07^{\circ}\text{C}$  и получают  $-0,06^{\circ}\text{C}$ , т. е. округленно  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . (Это поправка в 23 ч.) Алгебраически вводят найденные поправки в отсчеты по термографу в 22 и в 23 ч и получают исправленную температуру: в 22 ч  $t_{\text{исп}} = 9,0 - 0,1 = 8,9^{\circ}\text{C}$ , в 23 ч  $t_{\text{исп}} = 6,7 - 0,1 = 6,6^{\circ}\text{C}$ .

Так методом интерполяции по трехчасовым интервалам находят значения поправок к термографу за каждый час и, вводя их в отсчеты термографа, получают исправленную (истинную) температуру воздуха за каждый час.

На обратной стороне ленты записывают название станции, номер термографа, год, месяц, дату и время установки и снятия ленты. Меняют ленту около 12 ч (по зимнему московскому времени), т. е. около 9 ч по Гринвичу.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение температуры почвы.** 1. Отсчитывают температуру по срочному термометру, не снимая его с поверхности почвы.

2. Отсчитывают показание максимального термометра «до встряхивания», затем снимают термометр с поверхности почвы и, держа его за конец стеклянной оболочки, противоположной резервуару, энергично встряхивают 3...4 раза, делают отсчет «после встряхивания» и устанавливают термометр на поверхности почвы.

3. Отсчитывают показание по мениску спирта минимального термометра, не снимая его с поверхности почвы (отсчет «спирт»), делают отсчет по ближайшему к мениску спирта концу штифта (отсчет «штифт»). Затем снимают термометр с почвы и, держа его резервуаром вверх, подводят штифт к мениску спирта и устанавливают термометр на поверхности почвы.

4. Отсчитывают последовательно температуру почвы по коленчатым термометрам на глубинах 5, 10, 15, 20 см.

5. Отсчитывают температуру по термометру-щупу.

6. Вводят шкаловые поправки в показания термометров и получают исправленные значения температур.

7. Изображают графически согласно законам Фурье суточный ход температуры на поверхности почвы и на глубине 40 см.

Точность отсчетов температуры по всем термометрам до 0,1 °С, кроме термометра-щупа, где достаточная точность до 1 °С. В показании термометра-щупа шкаловую поправку не вводят.

8. Записывают результаты наблюдений за температурой почвы в таблицу 2.1.

**2.1. Форма для записи результатов наблюдений за температурой почвы**

| Наименование             | Отсчет                   | Поправка | Исправленное значение |
|--------------------------|--------------------------|----------|-----------------------|
| <b>Срочный термометр</b> |                          |          |                       |
| Максимальный             | До встряхивания<br>После |          |                       |
| Минимальный              | Спирт<br>Штифт           |          |                       |
| Коленчатые термометры    | 5 см                     |          |                       |
|                          | 10 см                    |          |                       |
|                          | 15 см                    |          |                       |
| Походный термометр       | 20 см                    |          |                       |

**Задание 2. Измерение температуры воздуха.** 1. Открывают дверцу психрометрической будки и отсчитывают показание сухого психрометрического термометра, сначала десятые доли, а затем целые градусы.

2. Отсчитывают показания максимального и минимального термометров по правилам, указанным ранее. Закрывают будку.

3. Открывают дверцу будки для самописцев, нажатием кнопки открывают крышку футляра термографа. По положению кончика

пера, используя среднюю шкалу, делают отсчет температуры по диаграммной ленте. Закрывают крышку футляра термографа, закрывают будку.

4. Вводят шкаловые поправки в показания термометров и получают исправленные значения температур.

5. Вычисляют поправку к показанию термографа как разность показаний психрометрического термометра с учетом его шкаловой поправки и показания термографа.

6. Приводят показание термографа к истинной температуре воздуха, введя найденную поправку к термографу в его отсчет.

7. Определяют, используя две последовательные ленты суточного термографа, максимальную, минимальную температуры воздуха и амплитуду температуры за метеорологические сутки (между 21 ч предыдущих и последующих суток).

8. Записывают результаты наблюдений за температурой воздуха в таблицу 2.2.

**2.2. Форма для записи результатов наблюдений за температурой воздуха**

| Наименование                                                                                                                    | Отсчет   | Поправка | Исправленное значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------------------|
| Психрометрический (сухой)<br>максимальный:<br>до встряхивания<br>после<br>минимальный:<br>спирт<br>штифт<br>Термограф недельный |          |          |                       |
| <b>Обработка ленты термографа</b>                                                                                               |          |          |                       |
| Прибор                                                                                                                          | Максимум | Минимум  | Амплитуда             |
| Термограф суточный                                                                                                              |          |          |                       |

#### **Контрольные вопросы**

1. Каким требованиям должна отвечать площадка для установки почвенных термометров? 2. Какие термометры и как устанавливают для измерения температуры поверхности почвы? 3. Каков принцип действия минимального и максимального термометров? 4. На каких глубинах и в какие сезоны года применяют коленчатые и вытяжные термометры? 5. Что такое активный слой почвы и какова его глубина? 6. До какой глубины прослеживается годовой ход температуры в почве? 7. Как строят и применяют термоизоплоты? 8. Каково значение температуры почвы для сельскохозяйственного производства? 9. Где и как устанавливают термометры для измерения температуры воздуха? 10. В чем заключается приведение показаний термографа к истинной температуре воздуха? 11. Каков принцип действия термографа?

## Лабораторная работа 3

### НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА



Водяной пар — одна из важнейших составных частей земной атмосферы. Он поступает в атмосферу вследствие испарения воды с поверхности морей и океанов и с поверхности суши. В среднем 23 % суммарной солнечной радиации, приходящей к Земле, затрачивается на испарение. Содержание водяного пара в атмосфере характеризует влажность воздуха. Водяной пар — переменная составляющая атмосферного воздуха. У земной поверхности его содержание колеблется от  $10^{-3}$  до 4 % по объему. С высотой количество водяного пара быстро убывает. На высоте 1,5...2 км его содержание вдвое меньше, чем у земной поверхности.

Влажность воздуха имеет большое практическое значение в сельском хозяйстве, так как обуславливает интенсивность испарения с поверхности почвы и транспирации с поверхности растений. Высокая влажность воздуха определяет преобладание в растениях углеводов, а низкая — белков. Низкое содержание водяного пара в воздухе вызывает такое опасное явление, как засуха, а в сочетании с ветром — суховеи. Высокая влажность способствует развиту вредителей и болезней на посевах сельскохозяйственных культур.

Количество водяного пара в воздухе характеризуется следующими показателями влажности: абсолютная влажность, парциальное давление водяного пара, парциальное давление насыщенного водяного пара, относительная влажность, недостаток насыщения, точка росы.

*Абсолютная влажность воздуха*,  $g/m^3$ ,  $a$  — масса водяного пара в единице объема воздуха:

$$a = \frac{216,7e}{T}, \quad (3.1)$$

где  $e$  — парциальное давление водяного пара, гПа (1 гПа = 100 Па; 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>);  $T$  — абсолютная температура, К.

Абсолютную влажность можно рассчитать и по формуле

$$a = \frac{0,8e}{1 + \alpha t}, \quad (3.2)$$

где  $\alpha$  — газовый коэффициент расширения, равный  $1/273$ ;  $t$  — температура, °С.

*Парциальное давление водяного пара*, гПа, — фактическое давление, которое имел бы водяной пар, содержащийся в смеси атмосферного воздуха, если бы он один занял объем, равный объему смеси при данной температуре воздуха:

$$e = \frac{R_n T \rho_n}{\mu_n}, \quad (3.3)$$

где  $R_n$  — удельная газовая постоянная водяного пара,  $R_n = 461 \text{ м}^2/(\text{с}^2 \cdot \text{К})$ ;  $T$  — абсолютная температура, К;  $\rho_n$  — плотность водяного пара, г/см<sup>3</sup>,  $\rho_n = 10^{-6}a$ ;  $\mu_n$  — молекулярный вес водяного пара ( $\mu_n = 18,015 \text{ кг/кмоль}$ ), имеет еще название — относительная молекулярная масса водяного пара.

*Парциальное давление насыщенного водяного пара*, гПа, — парциальное давление водяного пара, максимально возможное при данной температуре

$$E = 6,1 \cdot 10^{7,63t/(242 + t)}, \quad (3.4)$$

Из формулы (3.4) видно, что предел, до которого можно насыщать воздух водяным паром, зависит лишь от температуры воздуха  $t$ .

*Относительная влажность  $f$*  — отношение фактического парциального давления водяного пара при данной температуре воздуха к давлению насыщенного водяного пара, т. е. максимально возможному для данной температуры. Таким образом, относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром при данной температуре, измеряют ее в процентах и выражают формулой

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100 \%. \quad (3.5)$$

Согласно формуле (3.5)  $f = 0 \%$ , если  $e = 0$  гПа (в абсолютно сухом воздухе, чего в природе не бывает никогда), и  $f = 100 \%$ , когда  $e = E$  (такая степень насыщения воздуха водяным паром нередко и визуально определяется как туман).

*Дефицит (недостаток) насыщения водяного пара*, гПа,  $d$  — разность между давлением насыщенного водяного пара при данной температуре и фактическим парциальным давлением:

$$d = E - e. \quad (3.6)$$

При увеличении относительной влажности  $f$  до 100 % дефицит насыщения уменьшается до 0. Следует отметить, что  $E$  — функция температуры воздуха, а  $e$  — содержания водяного пара и температуры, т. е.  $d$  — это комплексная характеристика, выражающая условия температуры и влажности воздуха. Поэтому дефицит насыщения широко используют в агрометеорологии для оценки условий произрастания растений, для оценки условий проведения уборочных работ, в эмпирических формулах для расчета испаряемости.

Точка росы  $t_d$ , °C, K, — температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе при данном давлении, достигает состояния насыщения относительно химически чистой плоской поверхности воды. При  $f = 100$  % фактическая температура воздуха совпадает с точкой росы, при этом  $d = 0$ .

Для измерения влажности воздуха широко используют психрометрический и сорбционный методы.

Название первого метода произошло от греческого слова «психрос» — холодный, т. е. измерение влажности воздуха основано на охлаждении одного из термометров. На этом методе основана работа стационарного и аспирационного психрометров (психрометр Августа и психрометр Ассмана соответственно).

Сорбционный метод основан на свойстве гигроскопических тел реагировать на изменение влажности воздуха. Волосной гигрометр — сорбционный прибор.

**Стационарный психрометр.** Применяют для измерения температуры и влажности воздуха на гидрометеорологических и агрометеорологических станциях. Устанавливают внутри психрометрической будки, расположенной на метеорологической площадке на открытом месте.

**Устройство психрометра** показано на рисунке 2.14. Прибор состоит из двух психрометрических термометров — сухого и смоченного. С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение воды, при этом затрачивается тепло. Чем суше воздух, тем больше скорость испарения, тем больше тепла затрачивается на испарение и тем ниже показание смоченного термометра по сравнению с сухим. Если же воздух до предела насыщен водяным паром, то испарение прекращается и показания термометров становятся равными.

Парциальное давление водяного пара вычисляют по психрометрической формуле Августа:

если на батисте смоченного термометра вода, то

$$e = E_s - Ap(t - t'), \quad (3.7)$$

где  $E_s$  — давление насыщенного водяного пара над поверхностью воды, гПа;  $A$  — психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха возле резервуара смоченного термометра,  $A = 794 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $p$  — атмосферное давление, гПа;  $t$  и  $t'$  — показания сухого и смоченного термометров, °C;

если лед, то

$$e = E_n - Ap(t - t'), \quad (3.8)$$

где  $E_n$  — давление насыщенного водяного пара над поверхностью льда, Па.

Устанавливают оба психрометрических термометра на штативе и помещают в психрометрическую будку. Они имеют цену деления 0,2 °C, левый термометр — сухой, правый — смоченный. Резервуар 1 правого термометра (рис. 3.1) обвязывают батистом, конец которого опущен в стаканчик 2 с дистиллированной водой. Стаканчик устанавливают в проволоочном кольце 3, закрепленном на штативе винтом 4. Расстояние верхнего края стаканчика от резервуара термометра должно быть не менее 2...3 см. Это условие необходимо, чтобы края стаканчика не мешали свободному обмену воздуха около резервуара. Чтобы вода в стаканчике не загрязнялась от пыли, его прикрывают крышкой с прорезью и через эту прорезь пропускают конец батиста.

Крышку следует делать из такого материала (стекло, цинк), который не загрязнял бы воду и батист окислами.

Батист на резервуар правого термометра надевают следующим образом. Батистовый чулок натягивают на резервуар и выше резервуара крепко затягивают петлей из нитки. Под резервуаром батист тоже затягивают петлей, но слабо, чтобы не нарушать капиллярное подтягивание воды из стаканчика по батистовому чулку к резервуару термометра. Батист меняют 2 раза в месяц, так как загрязненный батист плохо тянет воду.

С наступлением первых заморозков батист смоченного термометра обрезают непосредственно под резервуаром (рис. 3.2), псих-

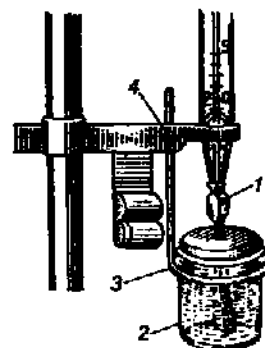


Рис. 3.1. Смоченный психрометрический термометр и стаканчик с дистиллированной водой:

1 — резервуар, обернутый батистом; 2 — стаканчик; 3 — проволоочное кольцо; 4 — винт

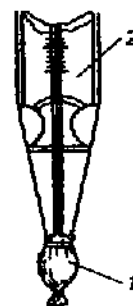


Рис. 3.2. Показка батиста при отрицательной температуре воздуха:

1 — резервуар, обернутый батистом; 2 — шкала

рометрический стаканчик убирают из будки. За полчаса до наблюдения стаканчик с дистиллированной водой комнатной температуры приносят в психрометрическую будку и погружают резервуар, обернутый батистом, в воду. Надо дожидаться, чтобы показание смоченного термометра стало на 2...3° выше нуля, при этом ледяная корка на батисте полностью тает. Будку закрывают и через 30 мин делают отсчет.

При отрицательных температурах следует обращать внимание на батист, отмечая лед или воду на нем. Если на батисте лед, то отсчет по смоченному термометру записывают, например, так:  $t' = -8,1^{\circ}\text{C}_{\text{лед}}$ . Агрегатное состояние воды на батисте определяет скорость испарения: она больше, если испаряющей поверхностью является вода, и меньше — если лед. При определении характеристик влажности воздуха это обстоятельство необходимо учитывать.

При проведении измерений отсчитывают десятые доли градуса, а затем целые градусы сначала по сухому, потом по смоченному термометру с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Психрометр имеет ограничение применения по температуре воздуха. При температуре от  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже его показания становятся ненадежными. В этом случае используют волосной гигрометр.

После того как отсчеты по сухому  $t$  и по смоченному  $t'$  термометрам сделаны, в их показания вводят шкаловые поправки из поверочных свидетельств термометров. Далее измеряют атмосферное давление  $p$  и, используя «Психрометрические таблицы», находят все характеристики влажности воздуха. Правила пользования изложены в «Психрометрических таблицах» на многочисленных примерах.

**Пример 1.** Дано:  $t = 10,8^{\circ}\text{C}$ ;  $t' = 4,1^{\circ}\text{C}$ ;  $p = 1020,0$  гПа. Найти:  $e$ ,  $E$ ,  $f$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Сначала вычисляют психрометрическую разность  $t - t' = 10,8 - 4,1 = 6,7^{\circ}\text{C}$ . Затем по таблице 3а («Психрометрические таблицы») находят поправку  $\Delta e = -0,10$  гПа, а по таблице 2, зная  $t$  и  $t'$ , — значение  $e = 2,8$  гПа. Вводят в найденное значение  $e$  поправку  $\Delta e$ :  $e = 2,8 - 0,10 = 2,7$  гПа. В той же таблице 2 для температуры  $t = 10,8^{\circ}\text{C}$  в колонке  $e$  находят  $e = 2,7$  гПа и выписывают из этой строчки значения  $t_d = -10,7^{\circ}\text{C}$ ;  $f = 21\%$ ;  $d = 10,2$  гПа. Далее по таблице 5 «Психрометрических таблиц» находят  $E = 12,9444$  гПа.

**Пример 2.** Дано:  $t = -8,1^{\circ}\text{C}$ ;  $t' = -9,3^{\circ}\text{C}_{\text{лед}}$ ;  $p = 990,0$  гПа. Найти:  $e$ ,  $E$ ,  $f$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Сначала вычисляют психрометрическую разность  $t - t' = -8,1 - (-9,3) = 1,2^{\circ}\text{C}$ . Затем по таблице 3в «Психрометрических таблиц» находят поправку  $\Delta e = 0,01$  гПа, а зная  $t$  и  $t'$ , по таблице 2 находят значение  $e = 1,92$  гПа. Вводят в найденное значение  $e$  поправку  $\Delta e$ :  $e = 1,92 + 0,01 = 1,93$  гПа. В той же таблице 2 для температуры  $t = -8,1^{\circ}\text{C}$  в колонке  $e$  находят ближайшее значение,

равное 1,93 гПа. Выписывают для него значения  $t_d = -14,9^{\circ}\text{C}$ ;  $f = 58\%$ ;  $d = 1,40$  гПа. По таблице 6 находят  $E = 3,0700$  гПа.

**Аспирационный психрометр АМ-4М.** Применяют для измерения температуры и влажности воздуха в полевых условиях, т. е. без психрометрической будки. Этот прибор удобен для транспортировки, малогабаритный и не требует никаких специальных приспособлений. Принцип действия прибора такой же, как у стационарного психрометра, но в его конструкции учтены все три вида защиты, которыми обладает психрометрическая будка: от солнечной радиации, осадков и ветра.

Устройство аспирационного психрометра показано на рисунке 3.3. Он состоит из двух одинаковых психрометрических термометров 10 и 11 с цилиндрическими резервуарами типа ТМ-6.

Резервуар смоченного термометра 11 обвязан батистом, обрезанным под резервуаром, где батист стянут петлей из нитки. Термометры закреплены в металлической оправе, состоящей из трубки 9, внизу переходящей в тройник 13. От внешних механических повреждений термометры защищены планками 12. К тройнику с помощью изоляционных пластиковых втулок 14 присоединены двойные трубки 15, 16, в которых находятся резервуары термометров. Чтобы уменьшить теплопередачу от наружных трубок, внутренние трубки в верхней части имеют изоляционные кольца. Корпус прибора хромированный, что обеспечивает защиту от нагрева прямыми лучами — это радиационная защита. Резервуары обоих термометров надежно укрыты двойными трубками так, что сухой термометр при измерениях остается сухим, если при наблюдениях выпадают осадки — это защита от осадков.

Верхний конец трубки 9 соединен с аспиратором 8, крыльчатка которого, вращаясь, засасывает воздух со стороны резервуаров, прогоняя его внутри двойных трубок с постоянной скоростью 2 м/с (скорость аспирации). Этим создает-

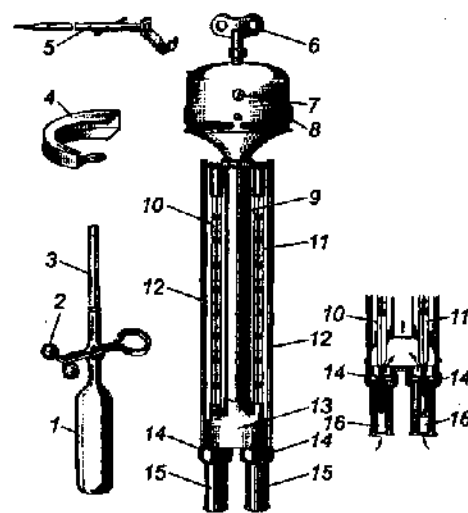


Рис. 3.3. Аспирационный психрометр АМ-4М:

1 — резиновая груша; 2 — зажим; 3 — пипетка; 4 — вентровая защита; 5 — крюк-подвес; 6 — ключ; 7 — окошечко; 8 — головка аспиратора; 9 — трубка; 10 и 11 — сухой и смоченный психрометрические термометры; 12 — защитные планки; 13 — тройник; 14 — изоляционные втулки; 15, 16 — трубки

ся независимость показаний смоченного термометра от переменной скорости ветра в полевых условиях — такова ветровая защита аспирационного психрометра.

Пружину аспиратора заводят ключом 6. Если скорость ветра при измерении влажности воздуха аспирационным психрометром  $\geq 3$  м/с, то на аспиратор с наветренной стороны надевают ветровую защиту 4.

При измерениях для смачивания батиста на резервуаре смоченного термометра берут резиновую грушу 1 со стеклянной пипеткой 3 и зажимом 2. Грушу наполняют дистиллированной водой. Отпустив зажим, нажатием на грушу доводят воду в пипетке до уровня 1 см от края и удерживают ее на этом уровне зажимом. Затем вводят пипетку в трубку, где находится резервуар, обернутый батистом. Выждав 3...5 с на смачивание батиста, открывают зажим, опуская воду назад в грушу, и вынимают пипетку из трубки. После этого ключом 6 заводят до отказа пружину аспиратора, при  $t > 0^\circ\text{C}$  через 4 мин, а при  $t < 0^\circ\text{C}$  через 30 мин, делают отсчеты, при этом сначала отсчитывают десятые доли, а затем целые градусы сухого и смоченного термометров с точностью до  $0,1^\circ\text{C}$ .

Для нахождения характеристик влажности воздуха следует в показания обоих термометров ввести шкаловые поправки из поверочных свидетельств термометров. Кроме того, сделать отсчет атмосферного давления.

Все характеристики влажности воздуха находят с помощью «Психрометрических таблиц». Психрометрический коэффициент для аспирационного психрометра, учитывающий скорость аспирации,  $A = 662 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**Пример 3.** Дано:  $t = 20,0^\circ\text{C}$ ;  $t' = 15,0^\circ\text{C}$ ;  $p = 1000,0$  гПа. Найти:  $e$ ,  $E$ ,  $f$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Сначала вычисляют психрометрическую разность  $t - t' = 20,0 - 15,0 = 5,0^\circ\text{C}$ , затем по таблице 4а «Психрометрических таблиц» находят поправку  $\Delta e = 0,66$  гПа и по таблице 2 этих же таблиц, зная  $t$  и  $t'$ , — значение  $e = 13,0$  гПа. Вводят в найденное значение  $e$  поправку  $\Delta e$ :  $e = 13,0 + 0,66 = 13,66$  гПа. В той же таблице 2 для температуры  $t = 20,0^\circ\text{C}$  в колонке  $e$  находят значение, ближайшее к  $e = 13,66$  гПа. Принимают  $e = 13,6$  гПа. Далее выписывают из этой строчки значения  $t_d = 11,5^\circ\text{C}$ ;  $f = 58\%$ ;  $d = 9,8$  гПа и по таблице 5 «Психрометрических таблиц» определяют  $E = 23,3708$  гПа.

**Пример 4.** Дано:  $t = -2,0^\circ\text{C}$ ;  $t' = -4,0^\circ\text{C}$ ;  $p = 980,0$  гПа. Найти:  $e$ ,  $E$ ,  $f$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Сначала вычисляют психрометрическую разность  $t - t' = -2,0 - (-4,0) = 2,0^\circ\text{C}$ . Затем по таблице 4а находят поправку  $\Delta e = 0,29$  гПа. Зная значения  $t$  и  $t'$ , по таблице 2 находят значение  $e = 2,96$  гПа. Вводят в найденное значение  $e$  поправку  $\Delta e$ :  $e = 2,96 + 0,29 = 3,25$  гПа. Затем по той же таблице 2 для температуры  $t = -2,0^\circ\text{C}$  находят  $e = 3,25$  гПа. Значение  $e = 3,25$  гПа находится между двумя соседними значениями  $e = 3,19$  гПа и

$e = 3,30$  гПа. Путем интерполяции находят  $t_d = -8,4^\circ\text{C}$ ;  $f = 62\%$ ;  $d = 2,03$  гПа. Далее по таблице 5 находят  $E = 5,2745$  гПа.

Периодически необходимо проверять скорость аспирации. Это делают определением скоростей вращения барабана с заводной пружиной, для чего заводят пружину аспиратора ключом до отказа и, наблюдая в окошечко 7 аспиратора, ожидают появления метки на барабане. В этот момент вращение крыльчатки останавливают кусочком картона, еще раз заводят пружину аспиратора и одновременно пускают секундомер и крыльчатку. Когда при вращении барабана в окошечке опять появится метка, секундомер останавливают и отмечают время оборота барабана. Если оно отличается от времени, указанного в поверочном свидетельстве, не более чем на  $\pm 5$  с, то прибор исправен. Время оборота барабана в среднем составляет 80...95 с.

Кроме проверки скорости аспирации, надо следить за чистотой батиста и сохранностью никелировки корпуса прибора.

Устанавливают психрометр в стационарных условиях, подвешивая его на столбе с помощью крюка 5 так, чтобы резервуары термометров находились на высоте 2 м. Наблюдатель располагается так, чтобы ветер был направлен от прибора к наблюдателю.

В полевых условиях психрометр укладывают горизонтально на кронштейне, прикрепленном к шесту, который острым концом заглубляют в почву. Горизонтальные кронштейны крепят к шесту на разных уровнях. Проводя измерения температуры и влажности воздуха на этих уровнях, можно получить представление о микроклимате в посевах той или иной культуры. При горизонтальной установке психрометра надо следить, чтобы солнечные лучи не попадали на резервуары термометров.

**Волосной гигрометр МВ-1.** Служит для измерения относительной влажности воздуха. Действие прибора основано на свойстве гигроскопичности обезжиренного человеческого волоса (датчика), отсюда и название прибора. При изменении влажности воздуха волос меняет свою длину. Гигрометр, в отличие от психрометров, является прибором относительным, но при  $t < -10^\circ\text{C}$  он становится основным при измерении влажности воздуха.

**Устройство** гигрометра показано на рисунке 3.4. Приемной частью гигрометра служит обезжиренный человеческий волос 1, натянутый на металлическую раму 4. Верхний конец волоса закреплен на регулировочном винте 2 с контргайкой 3, нижний конец волоса закреплен в отверстии кулачка 9 шеллаком или цапон-лаком. Кулачок насажен на стержнек 7 с грузиком 10. Стерженек 7 входит в отверстие оси 8, на которой сидит уравновешенная стрелка 6. Шаровидный грузик 10 держит волос в натянутом состоянии. Стерженек закреплен винтом 11 в отверстии оси 8.

При изменении влажности воздуха меняется длина волоса, при этом ось вместе со стрелкой поворачивается и фиксирует изменения относительной влажности воздуха на шкале 5, имеющей деле-

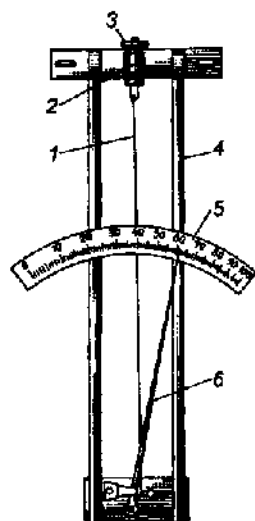


Рис. 3.4. Волосной гигрометр MB-1:

1 — волос; 2 — регулировочный винт; 3 — контргайка; 4 — рама; 5 — шкала; 6 — стрелка; 7 — стерженек; 8 — ось; 9 — кулачок; 10 — грузик; 11 — винт

ния в процентах от 0 до 100, цена деления шкалы 1 %. При увеличении влажности волос удлиняется и стрелка идет вправо, при уменьшении — влево. Шкала гигрометра неравномерная, так как длина волоса изменяется в зависимости от влажности.

Устанавливают волосной гигрометр в психрометрической будке на штативе между двумя психрометрическими термометрами (см. рис. 2.13). Если показания гигрометра заметно отличаются от показаний психрометра (а это бывает при высокой влажности воздуха), то надо подвести стрелку гигрометра к показанию психрометра по относительной влажности. Для этого освобождают контргайку 3 и, поворачивая регулировочный винт 2, устанавливают стрелку в нужное положение (см. рис. 3.4).

При измерении влажности воздуха волосным гигрометром делают два отсчета: по гигрометру и по сухому психрометрическому термометру. Точность отсчета по гигрометру 1 %, по термометру — 0,1 °C. В показание термометра вводят шкаловую поправку и получают истинную температуру воздуха. Чтобы показание гигрометра перевести в истинное значение относительной влажности, надо использовать тарировочный график к гигрометру, который обыч-

но прилагается к прибору. Если такого графика нет, то его нужно построить самостоятельно. Для этого проводят серию параллельных наблюдений по гигрометру и по психрометру (абсолютному прибору) при различных значениях относительной влажности воздуха в течение месяца (в теплое время года). На листе миллиметровой бумаги строят оси координат: по оси абсцисс откладывают показания гигрометра в процентах (рис. 3.5), по оси ординат — относительную влажность воздуха в процентах, измеренную психрометром. За месяц в указанных координатах будет нанесено 120 точек. Затем, используя какой-либо метод математической статистики (например, метод наименьших квадратов), строят график.

Чтобы перевести показания гигрометра в относительную влажность воздуха, надо на оси абсцисс найти это показание, далее

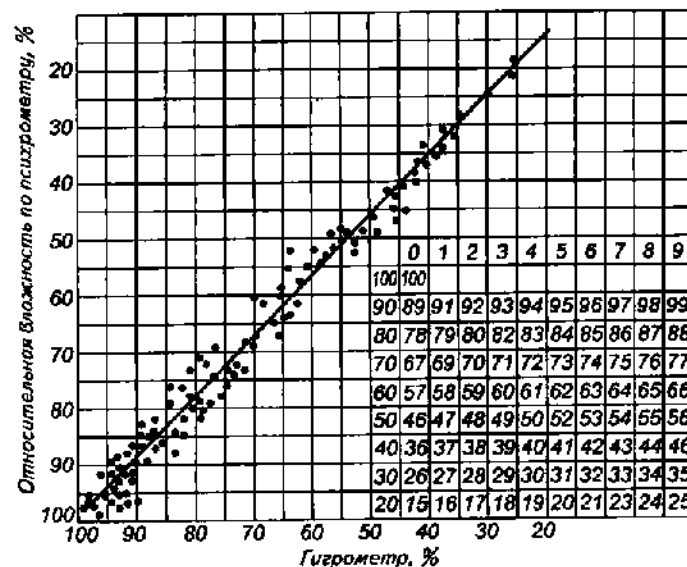


Рис. 3.5. Тарировочный график к гигрометру

подняться параллельно ординате до пересечения с графиком и на оси ординат отсчитать относительную влажность.

Теперь, имея истинную температуру и истинную относительную влажность воздуха, по «Психрометрическим таблицам» находят все остальные характеристики влажности.

**Пример 5.** Дано:  $t = -19,6$  °C; показание гигрометра 67 %. Найти:  $f$ ,  $e$ ,  $E$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Сначала по тарировочному графику (рис. 3.5) находят относительную влажность  $f = 65$  %, затем в таблице 1 «Психрометрических таблиц» — колонку с  $t = -19,6$  °C и для  $f = 65$  % выписывают значения  $e = 0,844$  гПа;  $t_d = -24,5$  °C;  $d = 0,454$  гПа. Далее по таблице 6 находят  $E = 1,0718$  гПа.

**Пример 6.** Дано:  $t = 20,0$  °C; показание гигрометра 50 %. Найти:  $f$ ,  $e$ ,  $E$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

По тарировочному графику (см. рис. 3.5) находят относительную влажность  $f = 46$  %. Затем в таблице 2 по температуре  $t = 20,0$  °C в колонке  $f$  находят  $f = 46$  % и из этой строчки выписывают значения  $t_d = 8,1$  °C;  $e = 10,8$  гПа;  $d = 12,6$  гПа и по таблице 5 находят  $E = 23,3708$  гПа.

**Гигрограф волосной М-21АС.** Для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха употребляют самописец-гигрограф, обеспечивающий регистрацию относительной влажности в диапазоне от 30 до 100 % при температуре воздуха от  $-35$  до  $45$  °C.

Устройство гигрографа показано на рисунке 3.6. Приемной частью прибора является пучок из 35—40 обезжиренных человеческих волос 6. Концы пучка волос закреплены двумя эбонитовыми втулками на металлическом кронштейне 7 с внешней стороны корпуса прибора. От механических повреждений пучок волос защищен провололочной защитой.

Принцип работы приемной части гигрографа такой же, как у гигрометра. Сорбируя влагу из окружающего воздуха, пучок обезжиренных волос меняет свою длину.

Передающий механизм гигрографа состоит из системы дуговых рычагов с осями. Задача передающего устройства — преобразовать изменение длины пучка волос в колебания стрелки с пером, пишущим на барабане с диаграммной лентой гипрограмму — линию записи изменения относительной влажности воздуха во времени (за сутки или за неделю).

Пучок волос оттянут за середину крючком 9, который соединен с рычагом 10, укрепленным на одной оси с криволинейным рычагом 5. Рычаг на своем свободном конце имеет цилиндрический грузик-противовес 4. Грузик удерживает пучок волос в натянутом состоянии. Рычаг 5 соприкасается с другим изогнутым рычагом 3, находящимся на одной оси со стрелкой 2, на конце которой насажено перо. Система изогнутых рычагов с кривизной, рассчитанной так, что при неодинаковом изменении длины пучка волос перо по диаграммной ленте перемещается равномерно. Кроме того, такое устройство передающего механизма исключает обрыв пучка волос при случайном нажатии на стрелку.

Перо производит запись на диаграммной ленте ЛМ-6р, закрепленной на барабане, внутри которого находится часовой меха-

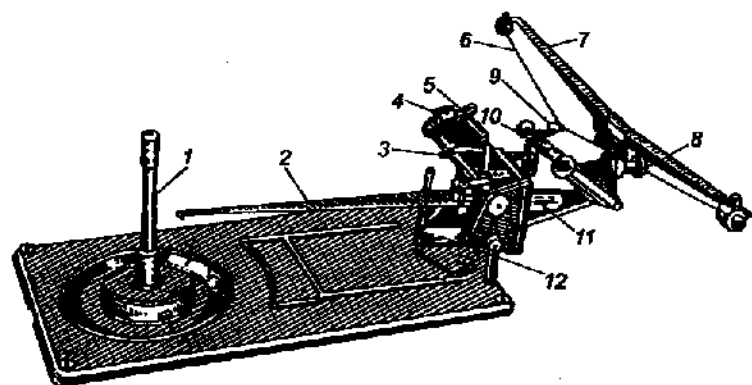


Рис. 3.6. Механизм гигрографа волосного М-21АС:

1 — стержень; 2 — стрелка с пером; 3, 5 — криволинейные рычаги; 4 — грузик; 6 — пучок волос; 7 — кронштейн; 8 — установочный винт; 9 — крючок; 10 — рычаг; 11 — кнопка; 12 — аррестор

низм, вращающийся на неподвижном стержне 1 с зубчатой шестеренкой у основания.

Таким образом, регистрирующая часть гигрографа — стрелка с пером и барабан с лентой, это полный аналог регистрирующей части термографа.

На ленте гигрографа горизонтальные параллельные линии соответствуют относительной влажности воздуха, цена деления 2 %. Вертикальные дуги — это шкала времени, цена деления 15 мин для суточных самописцев и 2 ч — для недельных.

Гигрограф на метеоплощадке устанавливают в психрометрической будке на высоте 2 м, т. е. самописец находится в таких же условиях, как и абсолютный прибор для измерения влажности воздуха — стационарный психрометр.

Перед установкой гигрографа (или при смене лент) стрелку с пером отводят от барабана аррестором 12, снимают барабан, закрепляют на нем лентодержателем ленту, снова надевают барабан с лентой на неподвижную ось и поворотом аррестора подводят стрелку с пером к ленте на барабане. Установочным винтом 8 стрелку надо установить на относительную влажность, полученную по психрометру. Поворачивая барабан вокруг оси, устанавливают стрелку на время. Гигрометр помещен в пластмассовый корпус с откидной крышкой. После установки барабана по времени, а стрелки по влажности прибор закрывают крышкой. В сроки наблюдений кнопку 11 на ленте делают засечки для последующей обработки ленты.

Обработку ленты гигрографа проводят с помощью графика сравнения, составляемого так же, как при определении поправок к показаниям гигрометра.

На график наносят показания гигрографа в срочные часы и значения относительной влажности, вычисленные в те же сроки по стационарному психрометру.

В теплые месяцы года график составляют ежемесячно. Для построения графика используют данные за все сроки наблюдения с 1-го по 15-е число текущего месяца (всего не менее 100 точек). При хорошей работе гигрографа все точки будут располагаться узкой полосой. По этому полю точек строят линию зависимости, т. е. тарировочный график для данного месяца.

Для зимних месяцев составляют сезонный график по данным гигрографа и психрометра за последние два месяца до наступления холодного сезона или за два месяца после.

С помощью тарировочного графика на ленте (рис. 3.7) гигрографа его показания за каждый час (верхняя строка под гипрограммой) переводят в истинные значения относительной влажности воздуха (нижняя строка).

На лицевой стороне ленты отмечают максимальное и минимальное значения относительной влажности воздуха.

На оборотной стороне ленты записывают название станции,

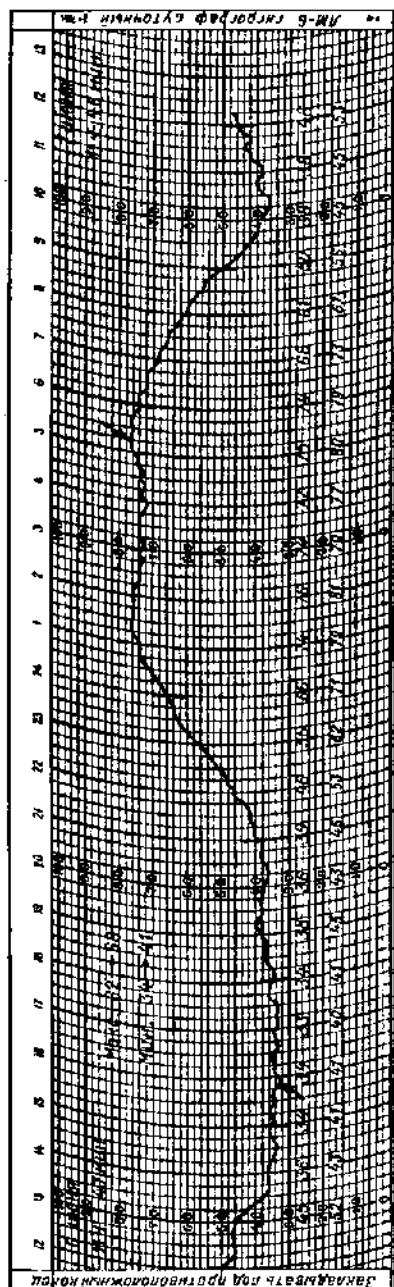


Рис. 3.7. Образец обработанной ленты гигрографа

номер прибора, время, дату, месяц и год, когда лента была установлена и снята, а также фамилии наблюдателей, кто обработал ленту и кто ее проверил.

В случае, когда часы в барабане спешат или отстают более чем на 10 мин в сутки, необходимо отрегулировать ход часов, для чего снять барабан с оси, вынуть из его крышки пробку и передвинуть стрелку регулятора часового хода в нужном направлении. На следующий день проверить точность хода часов.

Если пучок волос загрязнен, его надо промыть. Для этого снимают пучок волос с крючка и промывают его дистиллированной водой по всей длине мягкой кисточкой, не снимая его с рамки.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение влажности воздуха стационарным психрометром.** 1. Отсчитывают в психрометрической будке при положительной температуре воздуха показание сухого психрометрического термометра с точностью до 0,1 °C (сначала десятые доли, затем целые градусы).

2. Отсчитывают показание смоченного термометра в том же порядке и с той же точностью.

3. Смачивают батист на резервуаре смоченного термометра при отрицательной температуре воздуха не ниже -10 °C за 30 мин до наблюдений, погружая его резервуар в стаканчик с дистиллированной водой комнатной температуры. Через 30 мин отсчитывают показания сухого и смоченного термометров в том же порядке и с той же точностью.

4. Отсчитывают по барометру-анероиду значение атмосферного давления.

5. Записывают результаты наблюдений в таблицу 3.1.

3.1. Образец записи наблюдений по стационарному психрометру.  
Давление воздуха  $p$  \_\_\_\_ гПа

| Показатель           | Отсчет | Поправка | Исправленное значение |
|----------------------|--------|----------|-----------------------|
| $t$ , °C             |        |          |                       |
| $t'$ , °C            |        |          |                       |
| $t - t'$ , °C        |        |          |                       |
| $\Delta e$           |        |          |                       |
| $e$ , гПа            |        |          |                       |
| $f$ , %              |        |          |                       |
| $d$ , гПа            |        |          |                       |
| $t_{\text{см}}$ , °C |        |          |                       |
| $E$ , гПа            |        |          |                       |

6. Определяют характеристики влажности воздуха, используя «Психрометрические таблицы».

**Задание 2. Измерение влажности воздуха аспирационным психрометром.** 1. Смачивают с помощью пипетки с дистиллированной водой батист на резервуаре смоченного термометра аспирационного психрометра.

2. Заводят ключом до отказа пружину аспиратора и вешают психрометр на стойку.

3. Отсчитывают через 4 мин показания сухого и смоченного термометров с точностью до 0,1 °С.

4. Отсчитывают по барометру-анероиду значение атмосферного давления.

5. Записывают результаты наблюдений в таблицу 3.2.

3.2. Образец записи наблюдений по аспирационному психрометру.

Давление воздуха  $p$  \_\_\_\_ гПа

| Показатель    | Отсчет | Поправка | Исправленное значение |
|---------------|--------|----------|-----------------------|
| $t$ , °С      |        |          |                       |
| $t'$ , °С     |        |          |                       |
| $t' - t$ , °С |        |          |                       |
| $\Delta e$    |        |          |                       |
| $e$ , гПа     |        |          |                       |
| $f$ , %       |        |          |                       |
| $d$ , гПа     |        |          |                       |
| $t_p$ , °С    |        |          |                       |
| $E$ , гПа     |        |          |                       |

6. Определяют характеристики влажности воздуха, используя «Психрометрические таблицы».

**Задание 3. Измерение влажности воздуха волосным гигрометром.**

1. Отсчитывают в психрометрической будке показание сухого психрометрического термометра с точностью до 0,1 °С.

2. Отсчитывают показание гигрометра с точностью до целого деления.

3. Переводят показание гигрометра в относительную влажность воздуха, используя тарировочный график.

4. Записывают результаты наблюдений в таблицу 3.3.

3.3. Образец записи наблюдений по волосному гигрометру

| Показатель | Отсчет | Поправка | Исправленное значение |
|------------|--------|----------|-----------------------|
| $t$ , °С   |        |          |                       |
| Гигрометр  |        |          |                       |
| $f$ , %    |        |          |                       |
| $e$ , гПа  |        |          |                       |
| $d$ , гПа  |        |          |                       |
| $t_p$ , °С |        |          |                       |
| $E$ , гПа  |        |          |                       |

5. Определяют характеристики влажности воздуха, используя «Психрометрические таблицы».

#### Контрольные вопросы

1. Каково значение влажности воздуха в жизнедеятельности растений? 2. По каким характеристикам оценивают влажность воздуха? 3. На чем основан психрометрический метод измерения влажности воздуха? 4. Каковы правила наблюдений по стационарному психрометру в холодный период года с температурой до -10 °С? 5. Почему аспирационный психрометр называют «походным»? 6. В чем суть гигрометрического метода измерения влажности воздуха? 7. Как построить тарировочный график для гигрометра? 8. Каково назначение и устройство гигрографа?

## Лабораторная работа 4

### НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАЧНОСТЬЮ

Облака — это взвешенные в атмосфере продукты конденсации и сублимации водяного пара. Наблюдения за облачностью имеют большое практическое значение в сельском хозяйстве. Облачность уменьшает инсоляцию и степень прогрева земной поверхности и атмосферного воздуха. Из облаков выпадают осадки, влияя на степень увлажненности территории. Некоторые формы облаков обуславливают такие опасные явления погоды, как ливневой дождь, град, гроза, шквалистое усиление ветра.

#### КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

Конденсацией называют переход водяного пара в жидкое состояние. Этот процесс сопровождается выделением тепла — скрытой теплоты конденсации  $L_{\text{конд}} = 2,5 \cdot 10^6$  Дж/кг.  $L_{\text{конд}} = 597$  кал/г, так как 1 кал = 4,19 Дж, т. е. при конденсации 1 кг водяного пара выделяется  $2,5 \cdot 10^6$  Дж энергии.

Для начала конденсации необходимы два условия: понижение температуры воздуха ниже точки росы и наличие аэрозолей (ядер конденсации) в свободной атмосфере или переохлажденных поверхностей у земли.

*Продукты конденсации* в свободной атмосфере — капли воды в облаках, на земной поверхности и наземных предметах — роса.

Роса — мелкие капли воды, образующиеся на поверхности почвы, на траве и на листьях растений при температуре выше  $0^\circ\text{C}$ . Роса образуется вследствие радиационного выхолаживания деятельной поверхности в ясные тихие ночи, когда температура поверхности и прилегающего к ней воздуха опускается ниже точки росы и сконденсировавшийся пар выделяется на поверхности в виде капелек воды. Теплота, выделяющаяся при образовании росы, может предотвратить или ослабить радиационные заморозки.

#### СУБЛИМАЦИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

Сублимацией называют переход водяного пара в твердое (кристаллическое) состояние, минуя жидкую фазу.

Сублимация сопровождается еще большим выделением теп-

ла, чем конденсация. Скрытая теплота сублимации  $L_{\text{субл}} = 2,84 \cdot 10^6$  Дж/кг (677 кал/г).

Для начала сублимации необходимы два условия: понижение температуры воздуха ниже точки инея и наличие аэрозолей (ядер сублимации) в свободной атмосфере или переохлажденных до температуры ниже  $0^\circ\text{C}$  поверхностей у земли.

Точка инея — это еще одна характеристика влажности воздуха, не упоминавшаяся в лабораторной работе 3. Точка инея — температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, при неизменном давлении достигает насыщения относительно поверхности льда.

Продукты сублимации водяного пара в свободной атмосфере — кристаллы льда в облаках, на земной поверхности и наземных предметах (иней, изморозь, гололед).

*Иней* — мелкие кристаллы льда, покрывающие поверхность почвы, травы, ветви кустарников и деревьев.

*Изморозь* — рыхлый снеговидный осадок, нарастающий на ветвях, проводах и т. п. (зернистая изморозь), или пушистый слой кристалликов льда (кристаллическая изморозь). Зернистая изморозь образуется при наличии тумана и температуре  $-2...-7^\circ\text{C}$ , а кристаллическая — при температуре ниже  $-15^\circ\text{C}$ .

*Гололед* — слой гладкого прозрачного или мутного льда, образующегося на земной поверхности, деревьях и других наземных предметах вследствие намерзания переохлажденных капель дождя или тумана при их соприкосновении с земной поверхностью или с наземными предметами, имеющими температуру ниже  $0^\circ\text{C}$ . Гололед образуется с наветренной стороны предметов. Гололед — опасное явление погоды. Под тяжестью гололедных отложений ломаются ветви деревьев, обрываются линии электропередач. В районах пастбищного животноводства растительность, покрытая гололедом, становится недоступной для животных, что создает угрозу их жизни. Гололед на дорогах — гололедица затрудняет работу транспорта.

Скопление продуктов конденсации или сублимации в воздухе у земной поверхности образует различного типа туманы. Туман осадков не дает, но снижает горизонтальную видимость до значений менее 1 км. Туман способствует развитию фитофторы у томатов в период их созревания.

Продукты конденсации и сублимации водяного пара в свободной атмосфере и на земной поверхности называют гидрометеорами.

#### ОБЛАКА (ОБРАЗОВАНИЕ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НИМИ)

По фазовому составу облака делят на три группы: водяные, состоящие из капельно-жидкой воды; ледяные, состоящие из кристаллов льда; смешанные, состоящие из капель воды и кристаллов льда.

По условиям образования различают внутримассовые, возникающие внутри однородных воздушных масс, и фронтальные, которые возникают на границах раздела двух воздушных масс с резко отличными физическими характеристиками (температурой, абсолютной влажностью, прозрачностью воздуха).

Высота нижней границы облаков определяется высотой уровня конденсации, т. е. высотой над поверхностью земли, где температура воздуха понижается до точки росы. Высота верхней границы определяется верхней границей конвекции. Фазовый состав облаков зависит от того, выше или ниже уровня конденсации проходит нулевая изотерма. Если уровень конденсации находится ниже нулевой изотермы, то облака состоят из капель воды, если выше, — то из кристаллов льда.

Облака имеют разнообразные, быстро меняющиеся формы. Однако в результате многолетних наблюдений на тысячах метеорологических станций был собран и обобщен большой материал об облаках, позволивший создать их международную классификацию. В основе классификации лежат два признака: внешний вид и высота образования облаков.

Внешний вид облаков определяется характером и интенсивностью процессов облакообразования, а также зависит от освещенности облаков.

При наблюдениях за облаками определяют:

количество облаков в баллах от 0 до 10. Один балл составляет 0,1 часть всего небосвода, занятого облаками, 10 баллов — весь небосвод покрыт облаками;

формы облаков по общепринятой классификации;

высоту нижней границы облаков, которую измеряют как расстояние от поверхности земли до основания облаков; измеряют высоту нижней границы инструментально или визуально, если облака расположены не выше 2,5 км над землей.

Наблюдения за облачностью следует проводить с такого места, откуда виден весь небосвод.

При определении количества облаков следует мысленно суммировать покрытые облаками части небосвода, определяя общее количество облаков всех ярусов (общая облачность) и количество облаков только нижнего яруса (нижняя облачность). Например,  $N = 8/3$  Ci, As, Cu (см. классификацию облаков).

Согласно международной классификации облака делят на 4 класса и 10 основных форм.

I. Облака верхнего яруса. Высота образования более 6 км.

Основные формы: перистые, Cirrus (Ci); перисто-кучевые, Cirrocumulus (Cc); перисто-слоистые, Cirrostratus (Cs).

II. Облака среднего яруса. Высота образования от 2 до 6 км.

Основные формы: высококучевые, Altocumulus (Ac); высоко-слоистые, Altostratus (As).

III. Облака нижнего яруса. Высота образования ниже 2 км и может начинаться от поверхности земли (воды).

Основные формы: слоистые, Stratus (St); слоисто-кучевые, Stratocumulus (Sc); слоисто-дождевые, Nimbostratus (Ns).

IV. Облака вертикального развития (конвективные облака). Высота образования от нижней границы облаков нижнего яруса до тропопаузы (до верхней границы тропосферы).

Основные формы: кучевые, Cumulus (Cu); кучево-дождевые, Cumulonimbus (Cb).

Облака верхнего яруса состоят из ледяных кристаллов, через них просвечивают голубое небо, солнце и луна. Вследствие преломления и отражения световых лучей в этих облаках около солнца и луны наблюдаются такие оптические явления как концентрические радужные круги (гало), дуги, световые столбы.

Перистые облака Ci имеют вид белых тонких волокон, иногда с более плотными хлопьевидными образованиями. Эти облака образуются в результате восходящих движений воздуха в верхней тропосфере перед теплым атмосферным фронтом. Одна из разновидностей перистых облаков — перистые когтевидные (Cirrus uncinus, Ci unc) — верный предвестник приближения теплого фронта. Перистые плотные облака образуются из навален кучево-дождевых облаков при их распаде. Осадки из перистых облаков — мелкие ледяные кристаллы — не достигают поверхности земли, испаряясь.

Перисто-кучевые облака Cc представляют собой мелкие белые волны, хлопья или рябь. Они возникают в результате волновых и восходящих движений воздуха в верхней тропосфере. Такая разновидность перисто-кучевых облаков, как чечевицеобразные (Cirrocumulus lenticularis, Cc lent.), свидетельствует о наличии струйных течений на границе тропосферы и стратосферы. Осадки из этих облаков не выпадают.

Перисто-слоистые облака Cs имеют вид тонкой белесоватой пелены. В этих облаках наблюдаются указанные ранее оптические явления. Облака образуются в результате адиабатического охлаждения воздуха при восходящем движении в верхней тропосфере. При низких отрицательных температурах из них могут выпадать ледяные иглы, достигая поверхности земли.

Облака среднего яруса отличаются от облаков верхнего яруса большей плотностью. Через них лишь слабо просвечивают, а иногда совсем не просвечивают ни луна, ни солнце. Облака имеют белый или сероватый цвет и выглядят в виде сплошной пелены или волн, пластин и хлопьев. Облака состоят из капель переохлажденной воды (летом) или в смеси с кристаллами льда (зимой).

Высококучевые облака Ac — облака белого или сероватого цвета, по внешнему виду очень разнообразны, но в основном волнистые или хлопьевидные с просветами голубого неба или без них. Обра-

зуются в результате волнового движения и конвекции на границах инверсии и верхнего уровня конвекции. Иногда наблюдаются полосы выпадения осадков из этих облаков, но в большинстве случаев они земли не достигают.

Высокослоистые облака As — белого или серого цвета в виде сплошной однородной пелены, иногда со слабо выраженными бороздами или волнами. Высокослоистые просвечивающие (As translucidus) облака появляются вслед за перистыми и перистослоистыми перед теплым фронтом. Далее натекают еще более плотные непросвечивающие — As opacus, через них солнечные лучи не проходят. Зимой из этих облаков выпадают осадки в виде снега слабой интенсивности, а летом осадки, испаряясь, не достигают поверхности земли.

Облака нижнего яруса — это плотные, непросвечивающие облака темно-серого цвета, закрывающие весь небосвод. Состоят из капель воды (летом), переохлажденных капель воды и ледяных кристаллов (зимой).

Слоисто-кучевые облака Sc представляют собой неоднородный слой в виде волн, глыб, пластин либо сплошной, либо с просветами. Образуются при волновых движениях воздуха на инверсионных поверхностях. Как правило, осадки из них не выпадают.

Слоистые облака St лежат наиболее низко и имеют вид однородного серого покрова. Они напоминают приподнятый туман. Нередко эти облака сливаются с приземным туманом. Основание таких облаков может быть разорванным (St fractus) — это разорванно-слоистые облака. Слоистые облака состоят из капель воды или переохлажденной воды. Эти облака характерны для теплой, устойчивой воздушной массы. Осадки из них выпадают редко в виде мороси (летом) или мелкого снега и снежных зерен (зимой).

Слоисто-дождевые облака Ns покрывают весь небосвод сплошным слоем темно-серого, сизого цвета. Нижний край таких облаков может опускаться до 50...100 м над землей. Фазовый состав облаков — это капли воды и ледяные кристаллы. Облака образуются на границе раздела в теплой воздушной массе при ее соприкосновении с холодной массой, на теплом фронте. Сопровождаются выпадением обложных осадков в виде дождя (летом) или снега (зимой).

Облака вертикального развития образуются в результате термической конвекции в холодных, неустойчивых воздушных массах.

Кучевые облака Cu появляются на небе после утренней ясной безоблачной погоды в предполуденные часы. Сначала это кучевые плоские облака (Cu humilis) белого цвета, которые постепенно покрывают все большую часть небосвода. Нижняя граница таких облаков 600...800 м, вертикальная мощность невелика (100...200 м). Разрастаясь вверх по мере прогрева и развития восходящих токов воздуха, кучевые плоские облака превращаются сначала в

кучевые средние (Cu mediocris), верхняя граница которых достигает уже 3...4 км, а затем в послеполуденные часы — в кучевые мощные (Cu congestus). Шапки таких облаков, ослепительно белые, вырастают до высот 6...8 км.

Кучево-дождевые облака Cb — максимальная степень развития кучевых облаков. При этом верхняя граница может достигать тропопавзы и даже располагаться в нижней стратосфере. В средних широтах вертикальная мощность таких облаков от 10 до 12 км. Основание облаков темно-серого, сизого цвета, а вершину иногда венчает «наковальня» из перистых облаков. В своей нижней части облака состоят из капель воды, в средней — из капель переохлажденной воды и кристаллов льда, в верхней — из ледяных кристаллов. Нередко летом в кучево-дождевых облаках на высоте 3...6 км образуется «градовый очаг», где за счет сублимации водяного пара кристаллы льда вырастают в градины диаметром 0,1...1 см, а иногда и до 5...7 см и весом 50...70 г, отдельные градины до 500 г, вызывая такое опасное явление погоды, как градобитие. Кроме того, кучево-дождевые облака вызывают выпадение ливневых осадков, сопровождаемых грозами и шквалистым ветром. Ливневой дождь способствует водной эрозии, развитию оврагов, оползней, а в сочетании со шквалистым ветром приводит к полсганию надземной части растений на сельскохозяйственных угодьях, ломает ветви плодовых деревьев.

Инструментальное измерение высоты облаков проводят с помощью прибора ИВО (измеритель высоты облаков). При отсутствии такого прибора высоту нижней границы определяют визуально. Такие измерения приближительны, они становятся более точными, когда имеются какие-либо ориентиры на местности: высокие здания, радиомачты, телебашни и т. д. Тогда о высоте нижней границы облаков можно судить по закрытию верха этих сооружений.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Подготовка к наблюдениям за облачностью.** 1. Изучают основные виды и формы облаков по «Атласу облаков».

2. Выписывают виды и формы облаков, из которых выпадают осадки, с указанием характера их выпадения, интенсивности и вида (морось, обложные, ливневые, снег, град).

**Задание 2. Наблюдения за облачностью.** 1. Выходят на метеоплощадку и определяют в баллах общее количество облаков.

2. Определяют в баллах количество нижней облачности.

3. Определяют визуально высоту нижней границы облаков нижнего яруса.

4. Записывают результаты наблюдений за облачностью в рабочую тетрадь (табл. 4.1).

#### 4.1. Образец записи наблюдений за облачностью

| Количество облаков, баллов | Вид и форма облаков   | Высота нижней границы облаков, м |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 7/3 <sup>1</sup>           | Ci unc, As tr, Cu hum | 600                              |

<sup>1</sup>Числитель — общая облачность, знаменатель — нижняя облачность.

#### Контрольные вопросы

1. Каково значение облачности как погодного фактора в сельскохозяйственном производстве? 2. Как различают облака по фазовому составу, по условиям образования? 3. Какие два признака лежат в основе международной классификации облаков? 4. Что является продуктами конденсации и сублимации в свободной атмосфере, на поверхности земли? 5. Какая форма конвективных облаков может приводить к выпадению града? 6. В каких единицах измеряют количество облаков? 7. Как измеряют высоту нижней границы облаков?

## Лабораторная работа 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДКОВ, СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ИСПАРЕНИЯ

Осадки — основная приходная часть в водном балансе деятельной поверхности, которая пополняет запасы почвенной влаги. В холодный период они образуют снежный покров. Эти факторы имеют важнейшее значение для сельскохозяйственного производства.

Осадки из облаков выпадают вследствие укрупнения капель воды или кристаллов льда, из которых состоят облака, до размеров более 0,2 мм, когда они уже не могут оставаться во взвешенном состоянии и начинают падать. Увеличиваются капли по двум причинам: слияния капель и конденсации водяного пара на их поверхность. В смешанных облаках, состоящих из капель переохлажденной воды и ледяных кристаллов, они укрупняются в основном за счет сублимации водяного пара, испарившегося с поверхности капель, на кристаллах льда. В кучево-дождевых облаках, где скорость восходящих токов воздуха составляет 30...40 м/с, во взвешенном состоянии могут удерживаться крупные капли воды и кристаллы льда, которые при дальнейшем укрупнении вызывают ливневой дождь, град, ливневой снег.

Отсутствие осадков в течение длительного времени ведет к пересыханию верхнего слоя почвы и является одним из критериев (количественных показателей) почвенной засухи (по В. А. Сенинскому), которая приводит к нарушению водоснабжения растений и снижает урожайность. Чрезмерно большое количество осадков ведет к переувлажнению корнеобитаемого слоя почвы и, как следствие, к вымоканию и полеганию посевов. Дождливая погода в фазе цветения ухудшает условия опыления растений, а в период созревания затрудняет уборку.

Зимой на большей части территории России осадки выпадают в виде снега. Снежный покров, обладая малой теплопроводностью, защищает почву от сильного промерзания, а зимующие под снегом озимые культуры и многолетние растения — от вымерзания. Весной при снеготаянии пополняются запасы влаги в почве.

Осадки характеризуются тремя параметрами: количеством, интенсивностью и продолжительностью их выпадения.

*Количество осадков* измеряют толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что осадки не просачивались бы в почву, не стекали и не испарялись (чего в естественных условиях не бывает). При расчете норм полива в агрономии используют не миллиметры осадков, а кубометр на 1 га. Для перевода выпавших осадков из миллиметров в кубометры на 1 га нужно их количество, измеренное в миллиметрах, умножить на 10.

*Интенсивность осадков* измеряют в миллиметрах в минуту (мм/мин) или в час (мм/ч).

*Продолжительность выпадения осадков* измеряют в часах или в минутах от начала до окончания их выпадения.

По фазовому составу осадки делят на жидкие, смешанные и твердые.

К жидким осадкам относят: ливневой дождь, обложной дождь, морось.

Ливневой дождь охватывает, как правило, небольшую территорию и непродолжителен по времени. Диаметр капель может достигать 5...7 мм.

Обложной дождь выпадает из слоисто-дождевых облаков в течение длительного времени непрерывно или с небольшими перерывами и охватывает обширную территорию.

Морось — осадки, состоящие из капелек диаметром меньше 0,5 мм. Они не образуют крутов на водной поверхности. Морось выпадает из плотных слоистых облаков.

К смешанным осадкам относят снег с дождем и мокрый снег. Такие осадки выпадают из слоисто-дождевых облаков при температуре воздуха около 0 °С.

Твердые осадки — это снег, снежная крупа, ледяная крупа, снежные зерна, ледяной дождь, град.

Обложной снег выпадает из слоисто-дождевых, слоисто-кучевых и высокостроистых облаков. Снежные зерна выпадают из слоистых облаков. Из кучево-дождевых облаков выпадают крупа снежная и ледяная, ливневой снег, град.

## ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДКОВ

Измеряют количество осадков с помощью осадкомера Третьякова (О-1), дождемера полевого (М-99), дождемера почвенного (ГР-28) и плювиографа (П-2).

**Осадкомер Третьякова О-1.** Это основной прибор для измерения количества жидких и твердых осадков. В комплект осадкомера входят два цилиндрических ведра, куда и поступают выпадающие осадки, крышка к ведру, планочная защита, таган для установки ведра и измерительный стакан.

*Устройство осадкомера* показано на рисунке 5.1. Ведро 3 осадкомера имеет высоту 40 см, снизу запаяно, верхний срез ведра открыт — это приемная поверхность осадкомера площадью сечения

200 см<sup>2</sup>. Диафрагма 2, впаянная внутри ведра, имеет вид усеченного конуса. Она не позволяет осадкам, накопившимся на дне ведра, при сливе осадков через носик 5 в измерительный стакан 9 переливаться через верхний срез ведра. Кроме того, диафрагма уменьшает испарение попавших внутрь ведра твердых осадков зимой. В теплый сезон поверх диафрагмы устанавливают воронку 1 с той же целью — уменьшить погрешность на испарение жидких осадков. Носик 5 закрывается колпачком 4. Ведро осадкомера устанавливают в таган, закрепленный на деревянном столбе или на металлической подставке 7.

Ветровая защита 6, состоящая из 15 планок в форме равнобедренных трапеций, изогнутых по специальному шаблону, служит для уменьшения влияния ветра на количество попавших внутрь ведра осадков (особенно твердых). Верхние концы планок находятся на одном уровне с приемной поверхностью осадкомера. Планки имеют вырубку с ушками, сквозь которые проходит металлическое кольцо. Их крепят к столбу, на котором устанавливают осадкомер, тремя укосинами; укосины надевают на кольцо через каждые пять планок. Планки расположены на равных расстояниях друг от друга и стянуты между собой сверху и внизу цепочками.

Измерительный стакан 9 — это цилиндрическая мензурка, имеющая объем 200 мл (200 см<sup>3</sup>) и шкалу со ста делениями. Таким образом, одно деление шкалы равно 2 см<sup>3</sup>. Чтобы перевести цену деления в миллиметры осадков, надо 2 см<sup>3</sup> разделить на площадь приемной поверхности 200 см<sup>2</sup>:

$$\frac{2 \text{ см}^3}{200 \text{ см}^2} = 0,01 \text{ см} = 0,1 \text{ мм}.$$

*Устанавливают осадкомер* (прибор круглогодичного применения) на открытом месте, чтобы деревья, кустарники, здания и другие сооружения не влияли на его показания, на столбе или на металлической подставке, при этом верхний срез ведра (приемная поверхность) должен находиться на высоте 2 м над поверхностью земли и быть в строго горизонтальном положении. С северной стороны осадкомера для замены ведер устанавливают лесенку 8.

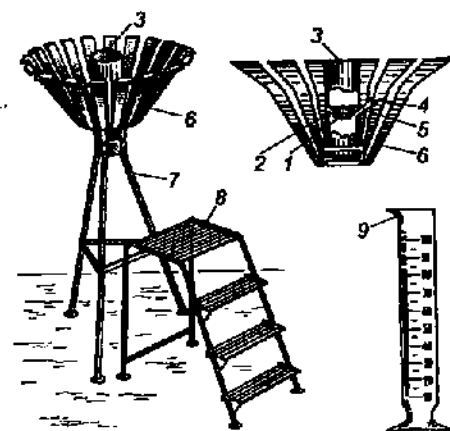


Рис. 5.1. Осадкомер Третьякова О-1:

1 — воронка; 2 — диафрагма; 3 — ведро; 4 — колпачок; 5 — носик; 6 — планочная ветровая защита; 7 — подставка; 8 — лесенка; 9 — измерительный стакан

При проведении измерений выпавших осадков пустое, сухое ведро осадкомера, закрытое крышкой, выносят из помещения и заменяют им ведро с накопившимися между сроками наблюдений осадками. Крышкой, снятой с сухого ведра, закрывают ведро с осадками и переносят его в помещение. Переливают собранные в ведре осадки через носик в измерительный стакан до тех пор, пока вода не перестанет капать. Стакан ставят на горизонтальную поверхность и делают отсчет делений стакана по нижнему краю вогнутого мениска воды. Если количество осадков окажется больше 100 делений шкалы, то измерение проводят в несколько приемов, отмечая число делений при каждом измерении. Затем эти измерения суммируют. Твердые осадки, собранные в осадкомерном сосуде, должны перед измерением растаять. Для этого сосуд с осадками оставляют в теплом помещении на некоторое время.

Количество осадков, измеренное в делениях шкалы стакана, нужно выразить в миллиметрах (мм) слоя воды, для чего число делений шкалы умножают на цену деления — 0,1 мм.

В измеренные осадки необходимо ввести поправку на смачивание ведра, так как часть осадков остается при сливе на дне и стенках ведра. Для жидких осадков, количество которых меньше 0,5 самого нижнего деления на шкале стакана, поправка равна +0,1 мм, для осадков более 0,5 первого деления шкалы поправка на смачивание +0,2 мм.

Измеряют осадки 2 раза в сутки. При установившейся сухой погоде, когда длительное время осадков нет, смена ведер не обязательна.

**Дождемер полевой (Дождемер Давитая) М-99.** Применяют для измерения осадков под покровом растений в посевах сельскохозяйственных культур. Надземная часть посева той или иной культуры в зависимости от фазы развития имеет разную высоту и площадь листовой поверхности. При развитой надземной части, например на посевах средне- и позднеспелых сортов кукурузы в фазе выметывания метелки и других, часть выпавших осадков затрачивается на смачивание листьев и стеблей растений. Если осадки выпадают в небольшом количестве, то почва под покровом посева останется сухой и влагозапасы в ней не пополнятся.

Сравнивая показания осадкомера и дождемера, можно рассчитать, какая доля от выпавших осадков идет на пополнение влаги в почве, а какая — на смачивание надземной части растений и на последующее испарение. Прибор применяют в теплое время года.

**Устройство прибора** показано на рисунке 5.2. Он представляет собой стеклянный измерительный стакан 2 с делениями ценой 1 мм осадков. Сверху стакан накрыт воронкой 1. Верхнее сечение воронки имеет площадь 30 см<sup>2</sup> и является приемной поверхностью дождемера. Воронка препятствует испарению накопившихся в измерительном стакане осадков.

Для измерения дождемер устанавливают на поверхности почвы в междурядье посева под покровом растений.

**Почвенный дождемер ГР-28.** Применяют его для измерения жидких осадков на уровне почвы.

**Устройство дождемера** показано на рисунке 5.3. Состоит он из ведра 2, гнезда 3, куда ставят ведро. Приемная поверхность ведра (верхний срез) имеет площадь 500 см<sup>2</sup>. Внутри ведра имеется припаянная конусообразная диафрагма 4 с отверстием в вершине конуса для стекания воды в его нижнюю часть. Диафрагма уменьшает погрешность на испарение попавших внутрь ведра осадков.

Гнездо почвенного дождемера в форме стального цилиндра имеет высоту 28 см и диаметр 35 см. В дне гнезда есть отверстия для стекания воды, попавшей в него, и три пружинящих опоры 5 для установки ведра.

Почвенный дождемер применяют в теплое время года.

**Устанавливают** его на открытом месте. В почве делают углубление для гнезда и устанавливают его там так, чтобы верхний край гнезда возвышался над почвой на 5 см. Стенки гнезда должны плотно соприкасаться с почвой. Под дном гнезда делают небольшое углубление для стекания воды и ее дальнейшего просачивания в почву. Затем в гнездо опускают ведро, оно садится на пружинящие опоры, при этом верхний срез ведра должен находиться в горизонтальном положении.

Для измерения количества накопившихся в ведре осадков (выпавших на поверхность почвы) ведро вынимают из гнезда и через носик 1 воду выливают в измерительный стакан. По мениску воды делают отсчет на шкале стакана. Стакан имеет вместимость 500 см<sup>3</sup>, а шкала — 100 делений. Цена деления шкалы равна:

$$\frac{500 \text{ см}^3}{100} = 5 \text{ см}^3;$$

$$\frac{5 \text{ см}^3}{500 \text{ см}^2} = 0,01 \text{ см} = 0,1 \text{ мм}.$$

К измеренному количеству осадков вводят поправку на смачивание так же, как и при применении осадкомера Третьякова.



Рис. 5.2. Дождемер полевой М-99:

1 — воронка; 2 — стакан

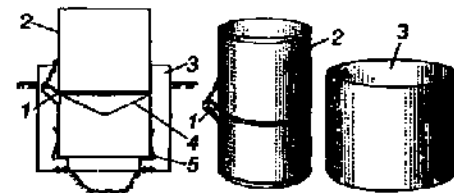


Рис. 5.3. Дождемер почвенный ГР-28:

1 — носик; 2 — ведро; 3 — гнездо; 4 — диафрагма; 5 — опоры

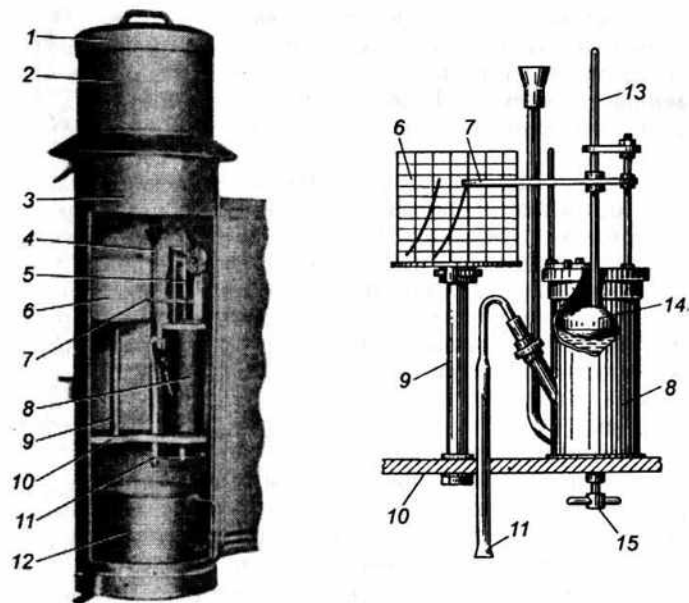


Рис. 5.4. Плувиограф П-2:

1 — крышка; 2 — приемный сосуд; 3 — кожух; 4 — трубка; 5 — механизм принудительного слива; 6 — барабан; 7 — стрелка; 8 — поплавковая камера; 9 — стойка; 10 — плата; 11 — сифон; 12 — водосборный сосуд; 13 — стержень; 14 — поплавок; 15 — винт

**Плувиограф П-2.** Прибор предназначен для непрерывной регистрации количества, интенсивности и продолжительности выпадающих жидких осадков, когда температура воздуха в течение суток не опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

**Устройство** pluвиографа показано на рисунке 5.4. Приемником осадков в pluвиографе служит цилиндрический сосуд 2, соединенный с железным цилиндрическим кожухом 3. Кожух имеет вырез на боковой стенке, который закрыт дверцей. Верхний открытый срез приемного сосуда — это приемная поверхность pluвиографа площадью  $500\text{ см}^2$ . Сосуд внизу заканчивается коническим дном с несколькими отверстиями для стока воды. Ко дну припаяна сливная трубка, вставляющаяся в воронку трубки 4, идущей от поплавковой камеры 8.

Регистрирующее устройство прибора смонтировано на горизонтальной металлической плате 10 внутри кожуха pluвиографа и состоит из поплавковой камеры 8, барабана 6 с часовым механизмом и лентой.

Поплавковую камеру крепят к плате с помощью винта 15. Внутри камеры находится полый металлический поплавок 14 со

стержнем 13 и стрелкой 7 с пером, пишущим на ленте pluвиограмму — линию записи осадков во времени. Сбоку в поплавковую камеру впаена трубка, в которую вставлен стеклянный сифон 11.

Механизм принудительного слива 5 смонтирован на крышке поплавковой камеры. Осадки через сифон из поплавковой камеры переливаются в водосборный сосуд 12, находящийся в нижней части кожуха. Рядом с поплавковой камерой на плате укреплен стойка 9 с осью, вокруг которой вращается барабан 6. На последний надевают бумажную диаграммную ленту. На ленте количество осадков от 0 до 10 мм измеряется по вертикальной шкале, имеющей цену деления  $0,2\text{ мм}$ . По горизонтали отложено время. Образец ленты суточного pluвиографа показан на рисунке 5.5. Оцифровка времени на ленте — через каждый час. Между соседними часами шесть делений, следовательно, цена деления по времени составляет 10 мин.

На крышке поплавковой камеры есть арретир для отвода стрелки с пером от ленты на барабане.

При выпадении осадков вода из приемного сосуда 2 по сливной трубке 4 попадает в поплавковую камеру 8. Поплавок по мере наполнения камеры водой, поднимаясь, перемещает вверх и стрелку 7 с пером, которое пишет на ленте линию. Крутизна последней указывает на интенсивность дождя. Когда камера заполняется водой до уровня, где находится колено сифона, вода из камеры сливается в водосборный сосуд 12. На ленте pluвиографа это выглядит как вертикальная линия от верхнего края диаграммной ленты (10 мм) к нижнему (0 мм). При продолжении дождя камера снова заполняется водой и pluвиограмма на ленте идет вверх до тех пор, пока не закончится дождь. При этом pluвиограмма представляет из себя параллельную абсциссе линию на уровне, соответствующем степени наполнения водой поплавковой камеры (см. рис. 5.5).

**Устанавливают** pluвиограф на открытом месте, на столбе, верхний край приемного сосуда при этом должен располагаться горизонтально на высоте 2 м над землей.

Если осадки выпадали, то ленты меняют ежесуточно. После замены ленты заводят часовой механизм барабана. При отсутствии осадков ленту можно не менять.

По линии записи на ленте pluвиографа можно получить следующую информацию: время начала и окончания дождя; интенсивность осадков за любой временной

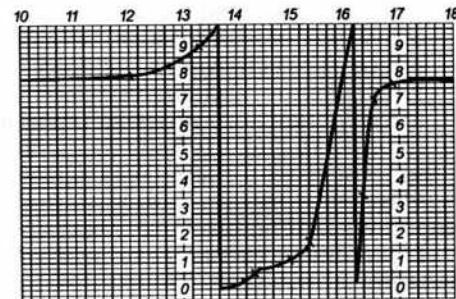


Рис. 5.5. Образец записи на ленте pluвиографа

интервал в мм/мин или мм/ч; сумму осадков за время их выпадения в мм.

Например (см. рис. 5.5), начало выпадения осадков в 12 ч, окончание в 17 ч, продолжительность их выпадения составила 5 ч, а сумма осадков:  $2 \text{ мм} + 10 \text{ мм} + 8 \text{ мм} = 20 \text{ мм}$ ; средняя за 5 ч интенсивность дождя составила  $4 \text{ мм/ч}$ , а в промежутке с 16 ч 10 мин до 16 ч 30 мин интенсивность осадков наибольшая, что видно по крутизне графика —  $8 \text{ мм} : 20 \text{ мин} = 0,4 \text{ мм/мин}$ .

В конце теплого сезона pluвиограф разбирают. Снимают барабан, стеклянную сифонную трубку, поплавковую камеру и водосборный сосуд. Сверху pluвиограф закрывают крышкой.

## НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ

Снежный покров оказывает большое влияние на температурный режим почвы и воздуха. На необходимость изучения снежного покрова впервые указал А. И. Воейков, отметивший его значение для сельского хозяйства.

Снежный покров представляет собой слой снега на поверхности земли, включая ледяные корки и талую воду под снегом.

Наблюдения за снежным покровом состоят из ежедневных наблюдений за изменением (динамикой) снежного покрова и периодических снегоъемов для определения снегонакопления и запаса воды в снеге на разных формах рельефа (ровное поле, балки, овраги, лес и т. д.). При ежедневных наблюдениях за снежным покровом определяют:

степень покрытия окрестности станции снежным покровом в баллах по 10-балльной шкале; если снегом покрыта вся видимая поверхность земли, то степень покрытия равна 10 баллам, если покрыто 30 % поверхности, то — 3 баллам, если менее 10 % — 0 баллов;

характер залегания снежного покрова (равномерный, неравномерный, очень неравномерный);

структуру снега (свежий, старый, наст);

высоту (см) снежного покрова.

При маршрутной снегомерной съемке определяют:

высоту снежного покрова (среднюю из числа измерений);

плотность снега ( $\text{г/см}^3$ ) (среднюю из числа измерений);

запасы воды в снеге (мм) (средние из числа измерений).

Измеряют высоту снежного покрова с помощью постоянных и маршрутных снегомерных реек.

**Постоянная снегомерная рейка М-103.** Представляет собой деревянный брус (рис. 5.6) длиной 180 см со шкалой в сантиметрах с ценой деления 1 см. Постоянную рейку устанавливают в месте наблюдения осенью, пока снежный покров еще отсутствует. Сначала в почву забивают деревянный брусок длиной около 50 см с острым

концом. К этому бруску привинчивают снегомерную рейку, при этом нуль шкалы должен совпадать с поверхностью почвы. На метеорологической площадке постоянные рейки устанавливают по треугольнику на расстоянии 10 м друг от друга.

Высоту снежного покрова измеряют с точностью до 1 см с расстояния 2...3 м от рейки, не нарушая снежного покрова. По отсчетам трех реек вычисляют среднюю высоту снежного покрова ежедневно. В конце декады вычисляют среднюю за декаду высоту снежного покрова, отмечают также высоту снежного покрова на последний день декады.

**Маршрутная снегомерная рейка М-104.** Применяют при маршрутных измерениях высоты снежного покрова. Изготавливают из гладкообструганного бруска (рис. 5.7) сухого дерева длиной 180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см. Нижний конец рейки снабжен металлическим наконечником длиной 10 см. На лицевой стороне рейки нанесена шкала в сантиметрах, нуль которой совпадает с острым ребром наконечника, цена деления шкалы 1 см.

При измерении высоты снежного покрова рейку погружают острым концом в снег до соприкосновения с почвой и отсчитывают по шкале рейки высоту с точностью до 1 см.

На полях с сельскохозяйственными угодьями маршрут прокладывают так, чтобы он пересекал типичные формы рельефа.

Плотность снега и запасы воды в нем измеряют весовым снегомером.

**Снегомер весовой ВС-43.** Предназначен для определения плотности снега и запасов воды в нем при проведении снегомерных съемок и состоит из металлического цилиндра-снегозаборника, безмена-весов и лопатки.

**Устройство весового снегомера** показано на рисунке 5.8. Цилиндрический снегозаборник 9 высотой 60 см и площадью поперечного сечения  $50 \text{ см}^2$  имеет на одном своем конце режущие зубья 7, другой конец

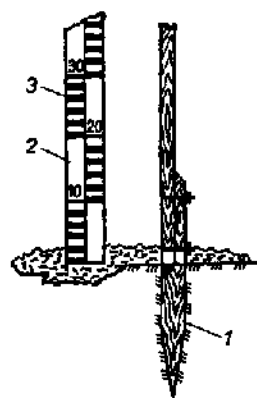


Рис. 5.6. Постоянная снегомерная рейка М-103:

1 — брусок; 2 — рейка; 3 — шкала



Рис. 5.7. Маршрутная снегомерная рейка М-104:

1 — металлический наконечник; 2 — рейка; 3 — шкала



## ИЗМЕРЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ

Испарение определяют по высоте слоя испарившейся воды в миллиметрах.

Для измерения испарения с водной поверхности используют испарительные бассейны площадью 20 и 100 м<sup>2</sup>, а также водные испарители с площадью поверхности 3000 см<sup>2</sup> (ГГИ-3000). Испарение в таких бассейнах и испарителях определяют по изменению уровня воды с учетом выпадения осадков.

Испарение с поверхности почвы (из слоя 0...50 см) измеряют почвенным испарителем ГР-25 (ГГИ-500-50). Прибор применяют только в теплое время года.

Наиболее совершенный прибор для измерения испарения с поверхности почвы — гидравлический почвенный испаритель (ГПИ). Это сложная установка, в которой монолит почвы массой около 400 кг при площади испаряющей поверхности 2000 см<sup>2</sup> помещен в поплавков, находящийся в баке с водой. Глубина погружения монолита меняется в зависимости от испарения.

**Почвенный испаритель ГР-25 (ГГИ-500-50).** Применяют для измерения испарения из почвы, при этом слой испарившейся воды определяют по разности показаний испарителя и почвенного дождемера.

Устройство испарителя показано на рисунке 5.9.

Почвенный монолит помещают во внутренний цилиндр 1 высотой 50 см, площадь испаряющей поверхности 500 см<sup>2</sup>. Цилиндр 1 заканчивается внизу съемным дном 5 с отверстиями диаметром 2 мм для стекания просочившейся через монолит воды. Дно к цилиндру прикрепляют с помощью трех защелок 8 и упоров 9, рас-

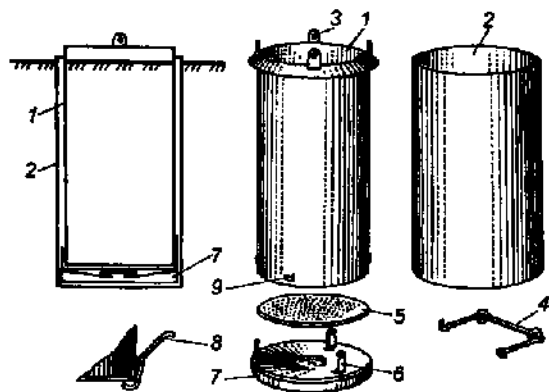


Рис. 5.9. Почвенный испаритель ГР-25 (ГГИ-500-50):

1 — внутренний цилиндр; 2 — внешний цилиндр-гнездо; 3 — ушки; 4 — ручки; 5 — съемное дно внутреннего цилиндра; 6 — планки; 7 — водосборный сосуд; 8 — защелки; 9 — упоры

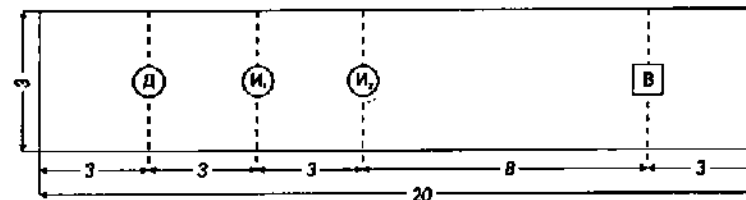


Рис. 5.10. Схема размещения приборов на испарительной площадке (размеры в м):

Д — почвенный дождемер; И<sub>1</sub>, И<sub>2</sub> — испарители; В — весы

положенных в нижней части цилиндра. На верхнем крае внутреннего цилиндра имеется козырек в виде кольца шириной 35 мм для прикрытия зазора между внутренним и внешним цилиндрами. К козырьку приварены четыре ушка 3 с отверстиями, куда продевают ручки 4 для подъема и переноски внутреннего цилиндра с почвенным монолитом. Внешний цилиндр 2 является гнездом для установки внутреннего цилиндра. Дно внешнего цилиндра глухое. Диаметр цилиндра 2 несколько больше диаметра цилиндра 1.

Водосборный сосуд 7 ставят на дно внешнего цилиндра 2. Сосуд 7 представляет собой цилиндр высотой 30 мм с воронкой вверху. Воронка имеет отверстие в центре диаметром 40 мм для сбора воды, просочившейся через почвенный монолит. Боковое отверстие у водосборного сосуда диаметром 10 мм предназначено для слива воды в дождемерный стакан. Водосборный сосуд крепят к внутреннему цилиндру тремя планками 6, приваренными к воронке водосборного сосуда.

В комплект почвенного испарителя ГР-25 (ГГИ-500-50) входят два испарителя, почвенный дождемер ГР-28, подъемное устройство, весы, будка для весов, дождемерный стакан.

**Организация наблюдательного участка** показана на рисунке 5.10. На почвенно-испарительной площадке приборы устанавливают на одной линии, проходящей посередине, через 3 м один от другого.

Весы устанавливают в будке, которая предохраняет их при взвешивании от действия ветра.

Будка — это прямоугольный ящик размером 800 × 500 мм, высотой 300 мм с откидной двухскатной крышей. Дно будки служит столом для установки весов. Будку крепят к четырем столбам, вбитым в землю.

Для установки испарителей вначале готовят углубления в почве глубиной 52 см и диаметром ~30 см, в которые опускают внешние цилиндры. При этом верхние края этих цилиндров должны быть на 1,5 см выше поверхности почвы. Щели между цилиндром и стенками ямы засыпают почвой и утрамбовывают. В подготовлен-

ные таким образом гнезда опускают внутренние цилиндры с почвенными монолитами.

Вырезают почвенные монолиты в 50 м от почвенно-испарительной площадки следующим образом. Внутренний цилиндр без дна ставят на почву и вдавливают в нее. Так как цилиндр изготовлен из листовой стали толщиной всего 2 мм, то он легко заглубляется в почву. Затем почву вокруг цилиндра окапывают на глубину около 5 см. После этого цилиндр, надавливая на него, погружают в почву еще примерно на 5 см и снова окапывают вокруг. Таким образом постепенно цилиндр погружается в почву, пока его верхний край не окажется на 1,5 см выше уровня поверхности почвы. Затем под цилиндр подводят съемное дно и с помощью защелок фиксируют его. Внутри цилиндра после этих действий оказывается почвенный монолит с ненарушенной естественной структурой. Масса цилиндра с монолитом 40...50 кг.

Внутренний цилиндр с почвенным монолитом переносят на почвенно-испарительную площадку и взвешивают на весах. После взвешивания к испарителю прикрепляют водосборный сосуд и опускают в гнездо. Точно такие же действия проводят и со вторым испарителем.

Заменяют монолиты один — три раза в месяц в зависимости от типа испарительной площадки. Если поверхность площадки представляет собой оголенную почву (и поверхность почвенного монолита должна быть тоже оголенной), то монолиты заменяют 1 раз в месяц. Если же поверхность площадки и монолита покрыта растительностью, то 3 раза в месяц, так как за декаду растительный покров на поверхности монолита будет существенно отличаться от растительного покрова на площадке.

Измерения на почвенно-испарительной площадке проводят ежедневно. В 9 ч измеряют осадки почвенным дождемером, а в день взвешивания монолитов — непосредственно перед взвешиванием. Для взвешивания внутренний цилиндр с почвенным монолитом поднимают за ручки из гнезда и переносят на весы, сняв перед этим водосборный сосуд. Воду из водосборного сосуда выливают в дождемерный стакан, определяя количество просочившейся через монолит воды в миллиметрах (мм). Взвешивают на весах внутренний цилиндр с монолитом. После этого водосборный сосуд промывают водой, присоединяют его к цилиндру с монолитом, переносят его и опускают в гнездо.

При обработке наблюдений испарившийся слой воды между двумя последовательными взвешиваниями, мм, вычисляют по формуле

$$E = 0,02(P_1 - P_2) + r_1 - r_2, \quad (5.2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — масса монолита в предыдущий и последующий сроки измерений, г;  
 $r_1$  — количество осадков между сроками наблюдений по почвенному дождемеру, мм;  
 $r_2$  — количество просочившейся воды в водосборный сосуд, мм.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение осадков.** 1. Выливают воду из ведра осадкомера Третьякова, где скопились выпавшие осадки, в измерительный стакан.

2. Отсчитывают число делений в измерительном стакане, заполненном водой, по нижнему краю мениска воды.

3. Пересчитывают число делений измерительного стакана в миллиметры (мм) осадков.

4. Вводят поправку на смачивание ведра осадкомера и получают исправленное количество осадков в миллиметрах (мм).

5. Пересчитывают сумму выпавших осадков из миллиметров (мм) в кубометры (тонны) на 1 га [ $\text{м}^3/\text{га}$  ( $\text{т}/\text{га}$ )].

6. Записывают результаты в таблицу 5.1.

5.1. Образец записи измерения осадков

| Цена деления<br>измерительно-<br>го стакана, мм | Количество осадков       |    | Поправка на<br>смачивание | Сумма осадков |                        |
|-------------------------------------------------|--------------------------|----|---------------------------|---------------|------------------------|
|                                                 | число делений<br>стакана | мм |                           | мм            | $\text{м}^3/\text{га}$ |
|                                                 |                          |    |                           |               |                        |

**Задание 2. Построение гистограммы.** 1. Определяют по плювиограмме на диаграммной ленте плювиографа начало и окончание выпадения осадков, максимальную интенсивность (мм/ч, мм/мин) за время их выпадения, сумму выпавших осадков.

2. Строят гистограмму годового хода осадков по данным «Агро-климатического справочника» или ближайшей метеостанции.

**Задание 3. Измерение снежного покрова.** 1. Выносят снегомер весовой из помещения за 20...30 мин до измерений и охлаждают его до температуры воздуха.

2. Проводят измерения снегомером в двух местах.

3. Определяют плотность снега.

4. Рассчитывают запасы воды в снеге.

5. Записывают результаты измерений в таблицу 5.2.

5.2. Образец записи снегомерных измерений

| Дата | Измере-<br>ния | Высота снега, см |                      | Отсчет по<br>шкале<br>безмеза | Плотность<br>снега,<br>г/см <sup>3</sup> | Запас воды |                        |
|------|----------------|------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------|------------------------|
|      |                | по рейс          | по шкале<br>цилиндра |                               |                                          | мм         | $\text{м}^3/\text{га}$ |
|      | 1.             |                  |                      |                               |                                          |            |                        |
|      | 2.             |                  |                      |                               |                                          |            |                        |
|      | ...            |                  |                      |                               |                                          |            |                        |
|      | Среднее        |                  |                      |                               |                                          |            |                        |

1. Каково значение осадков в сельскохозяйственном производстве? 2. В каких единицах измеряют количество (сумму) осадков и их интенсивность? 3. Как делят осадки по фазовому составу? 4. Какие основные приборы применяют для измерения осадков? 5. Какую информацию можно получить по записи на ленте пловниграфа? 6. Каково значение снежного покрова для перезимовки озимых и многолетних культур? 7. Какие параметры снежного покрова определяют и какими приборами их измеряют? 8. Что такое физическое испарение, транспирация, суммарное испарение? В каких единицах их измеряют? 9. Какими приборами измеряют испарение?

## Лабораторная работа 6

### ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ



Атмосферное давление — это сила, с которой давит на единицу поверхности земли столб воздуха, простирающийся от земной поверхности до верхней границы атмосферы. Атмосферное давление убывает с высотой по экспоненте и уже на высоте 5,5 км становится вдвое меньше, чем на уровне моря.

Так как первым прибором для измерения атмосферного давления был ртутный барометр, то и первыми единицами были миллиметры ртутного столба. При этом измеряют высоту ртутного столба в трубке барометра. Давление атмосферы удерживает столб ртути на определенной высоте. При изменении атмосферного давления меняется и высота ртутного столба в трубке барометра, т. е. линейной длиной измеряется сила.

С 1980 г. в качестве международной единицы для измерения атмосферного давления принят паскаль (Па) — давление, вызываемое силой в 1 ньютон на площадь  $1 \text{ м}^2$ , точнее, не сам паскаль, а его производная — гектопаскаль (гПа):  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ;  $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$

Поскольку для измерения атмосферного давления до сих пор применяют приборы, шкалы которых проградуированы в миллиметрах, то укажем соотношение между старыми и новыми единицами:  $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333224 \text{ гПа} \approx 1,33 \text{ гПа}$ .

Атмосферное давление, измеряемое на тысячах наземных метеорологических станций, — основной метеорологический элемент, применяемый в численных методах краткосрочных прогнозов погоды. Рост атмосферного давления или его понижение свидетельствует о приближении антициклонов, циклонов, атмосферных фронтов.

Горизонтальный градиент давления — одна из двух движущих сил в атмосфере (вторая — это сила тяжести), способная приводить в движение покоящуюся массу воздуха; чем больше эта сила, тем сильнее ветер в данной местности.

### МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

При измерении атмосферного давления применяют четыре вида приборов: жидкостные барометры, действующие на основании законов гидростатики; деформационные барометры (анерои-

ды), действие которых основано на упругих свойствах приемной части прибора; газовые барометры, основанные на упругих свойствах газа; термобарометры — приборы, действие которых основано на зависимости точки кипения жидкости от внешнего давления.

Наиболее применимы в метеорологии из жидкостных барометров — ртутный чашечный, из деформационных — барометр-анероид и барограф.

**Станционный чашечный барометр СР.** Это точный абсолютный прибор для измерения атмосферного давления.

*Устройство* барометра показано на рисунке 6.1. Прибор состоит из следующих основных частей:

барометрической стеклянной трубки 6, запаянной с верхнего конца и заполненной под вакуумом очищенной ртутью, длина трубки 800 мм;

чашки 9, состоящей из трех свинчивающихся частей. Средняя часть чашки имеет диафрагму с отверстиями, которая предохраняет трубку от попадания в нее воздуха. Для сообщения барометра с наружным воздухом в крышке чашки сделано отверстие, закрываемое винтом 8 металлической оправы 4, на которой нанесена шкала от 810 гПа до 1070 гПа (СР-А) или от 680 гПа до 1070 гПа (СР-Б). В прорези оправы расположен подвижный нониус 2, который перемещается с помощью кремальеры 5; на оправе укреплен термометр 7 для определения температуры барометра, а сверху на оправу навинчен колпачок с кольцом 1 для подвешивания барометра.

Для предохранения барометра от толчков, встряхиваний, попадания прямых солнечных лучей, пыли и прочих физических воздействий барометр устанавливают в барометрическом шкафчике (рис. 6.2). Шкафчик имеет застекленные дверцы, которые при наблюдении открывают, и они не мешают проводить отсчеты; на задней стенке шкафчика должна быть прорезь, закрытая матовым стеклом. Стекло освещается источником света, расположенным между стеной и шкафчи-

ком. Таким образом подсвечивается мениск ртути в стеклянной трубке барометра.

Размер шкафчика должен соответствовать размеру станционного барометра. Шкафчик укрепляют на капитальной стене внутри помещения на некотором расстоянии от стены, с тем чтобы за шкафчиком можно было бы поместить электрическую лампочку мощностью не более 25 Вт для освещения трубки барометра.

Шкафчик крепят на высоте 70...80 см от пола так, чтобы наблюдатель мог делать отсчеты по барометру без дополнительной подставки.

*Измеряют* атмосферное давление точно в срок наблюдений, последним из всего комплекса наблюдений за погодой.

Перед измерением открывают шкафчик и включают освещение. Вначале отсчитывают показание термометра с точностью до 0,1 °С. Затем легким постукиванием по оправе барометра устанавливают нормальную выпуклую форму мениска. Вращением кремальеры поднимают кольцо с нониусом выше мениска ртути, потом нониус сверху вниз подводят до кажущегося соприкосновения его среза с вершиной мениска ртути так, чтобы по обе стороны мениска были видны просветы, и отсчитывают показания барометра с точностью до 0,1 гПа. Целые деления отсчитывают по нижнему срезу нониуса, десятые — по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением шкалы, показывает число десятых долей (рис. 6.3).

При *обработке* наблюдений в показаниях барометра вводят поправки:

инструментальная — учитывает индивидуальные особенности при изготовлении прибора;  
на широту станции;  
на высоту над уровнем моря;  
сертификационная к термометру при барометре;  
на приведение показаний барометра к 0 °С.

Сумма инструментальной поправки, поправки на приведение показаний баро-

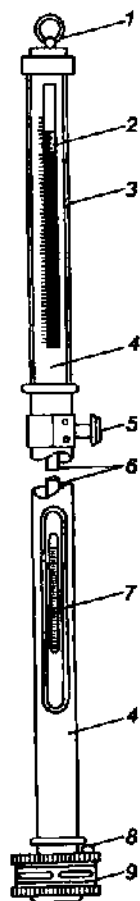


Рис. 6.1. Барометр чашечный станционный СР:

1 — колечко; 2 — нониус; 3 — защитное стекло; 4 — оправка; 5 — кремальера; 6 — барометрическая трубка; 7 — термометр; 8 — винт; 9 — чашка

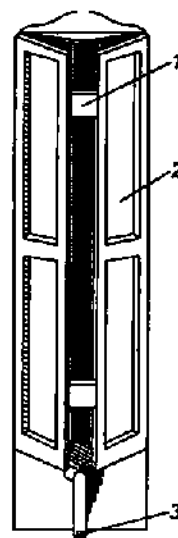


Рис. 6.2. Шкафчик для установки барометра:

1 — прорезь с матовым стеклом; 2 — дверца; 3 — крепление

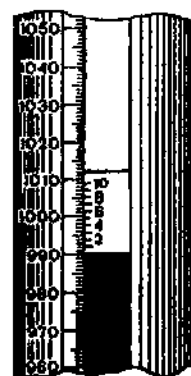


Рис. 6.3. Нониус станционного чашечного барометра

метра к уровню моря и к широте  $45^\circ$  составляет постоянную поправку.

Для получения исправленного значения атмосферного давления алгебраически складывают отсчет по барометру, постоянную поправку и температурную поправку.

**Барометр-анероид БАММ-1.** Это относительный прибор для измерения атмосферного давления.

**Принцип действия** прибора основан на деформации мембранных анероидных коробок при изменении атмосферного давления и дальнейшем преобразовании линейных перемещений мембран передаточным механизмом в угловые перемещения стрелки относительно шкалы.

**Устройство** барометра-анероида показано на рисунке 6.4. Приемная часть анероида — бароблок 2 состоит из трех мембран, которые изготавливают из тонкостенной нержавеющей стали или бериллиевой бронзы. Внутренняя полость соединенных между собой мембран герметична, из них при изготовлении бароблока выкачивают воздух, но не весь, а до внутреннего давления  $\sim 0,013$  гПа. Оставшийся внутри мембран воздух служит для газовой компенсации влияния температуры на показание анероида (см. далее по тексту: температурная поправка к анероиду).

При увеличении температуры упругость металлических мембран уменьшается и стрелка покажет увеличение давления, хотя сила, с которой атмосфера давит на анероидную коробку, остается при этом неизменной. Если внутри коробки оставить некоторое количество газа, то при увеличении температуры он, расширяясь, будет давить изнутри на стенки мембран, не давая им сжиматься.

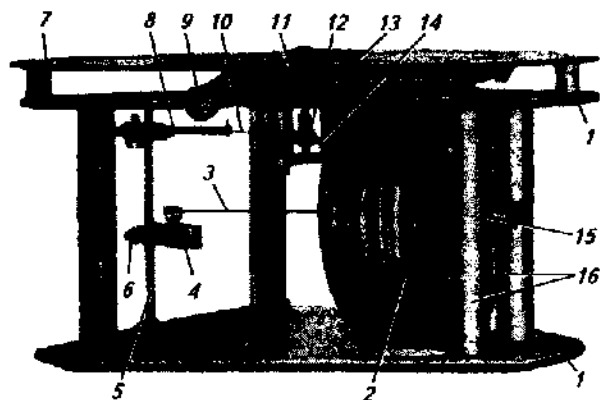


Рис. 6.4. Барометр-анероид БАММ-1:

1 — платы верхняя и нижняя; 2 — бароблок; 3 — тяга; 4 — рычаг; 5, 11 — оси; 6 — регулировочный винт; 7 — стрелка; 8 — движок; 9 — термометр; 10 — цепочка; 12 — ролик; 13 — пластина; 14 — спиральная пружина; 15 — установочный винт; 16 — стойки

С помощью пластины с одной стороны бароблок прикреплен к стойкам 16, расположенным между металлическими платами 1. Подвижная противоположная часть бароблока с помощью тяги 3 шарнирно соединена с рычагом 4 промежуточной оси 5. Вторым рычагом этой оси является движок 8, соединенный пластинчато-шарнирной цепочкой 10 с роликом 12, насаженным на ось 11, на которой сидит стрелка 7. Для постоянного натяжения цепочки на оси 11 служит спиральная пружина-волосок 14. К верхней плате 1 с помощью втулок с винтами прикреплена пластина 13 с отверстием в центре. Через отверстие выходит ось 11 со стрелкой 7 на конце. Пластина 13 имеет круговую шкалу, проградуированную в паскалях. Цена деления шкалы 1 гПа.

Для измерения температуры анероида в прорези пластины 13 укреплен дугообразный термометр 9 с ценой деления  $1^\circ\text{C}$ .

Чувствительность анероида к изменению атмосферного давления регулируют винтом 6 при поверке прибора. Винтом 15 можно регулировать положение стрелки 7. Необходимо иметь в виду, что после поверки анероида винты трогать нельзя, так как при этом меняются поправки прибора.

Механизм анероида помещен в пластмассовый корпус. Пластина 13 со шкалой и ось 11 со стрелкой (регистрирующая часть прибора) сверху закрыты стеклом, которое закрепляют навинченным на корпус прибора кольцом. Стекло защищает ось со стрелкой от механических повреждений. Через отверстие в корпусе можно корректировать положение стрелки, вращая винт 15. Чтобы уберечь прибор от резких колебаний температуры, его помещают в футляр, открываемый только на время измерения давления.

При измерении надо установить анероид горизонтально и, открыв крышку футляра, отсчитать сначала температуру прибора по термометру при анероиде с точностью до  $0,1^\circ\text{C}$ . Затем, постукивая слегка пальцем по стеклу анероида, отсчитывают показание по шкале прибора с точностью до  $0,1$  гПа. Постукивание необходимо для преодоления трения в передающем механизме анероида. Если отсчеты по анероиду долгое время не проводили, то после постукивания стрелка заметно сдвинется с первоначального положения.

При обработке результатов измерений атмосферного давления в показание анероида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную.

Шкаловая поправка учитывает индивидуальные особенности в передающем механизме прибора, ее берут из поверочного свидетельства анероида. Шкаловые поправки даны в поверочном свидетельстве в виде таблицы, где от нижнего предела шкалы до верхнего через каждые 10 гПа указаны значения шкаловых поправок. Чтобы вычислить шкаловую поправку, ее необходимо найти интерполяцией между двумя соседними значениями поправок в том

интервале шкалы, куда попадает отсчет. Каждый анероид имеет свой набор шкаловых поправок.

Температурная поправка (приведенная к  $0^{\circ}\text{C}$ ) учитывает изменение упругости анероидной коробки при изменении температуры анероида. При повышении температуры упругость металлических мембран уменьшается, при понижении — увеличивается. Следовательно, одна и та же сила атмосферного давления по-разному сжимает бароблок в зависимости от его температуры. Чтобы исключить влияние температуры на показания анероида, их приводят к  $0^{\circ}\text{C}$ . С этой целью для каждого анероида определяют температурный коэффициент. Он представляет собой изменение показаний анероида при изменении его температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ . Температурный коэффициент указан в поверочном свидетельстве анероида. Для получения температурной поправки надо умножить температурный коэффициент на температуру анероида.

Добавочная поправка зависит от остаточной деформации анероидной коробки. В природе нет абсолютно упругих тел. Поэтому, если подвергнуть какое-либо упругое тело (бароблок из металла) деформации, то после прекращения действия внешней силы, вызвавшей деформацию, тело не вполне точно примет свою первоначальную форму, так как некоторая часть деформации останется. Значение остаточной деформации зависит от значения и продолжительности действия внешней силы.

Добавочная поправка меняется во времени. Чтобы свести эти изменения к минимуму, новые анероиды подвергают искусственному «старению». Для этого помещают новый анероид в барокамеру и многократно повышают и понижают в ней давление (при этом получают и набор шкаловых поправок к анероиду, сравнивая его показания с показаниями встроенного в барокамеру точного ртутного манометра). После этого достаточно раз в полгода определять добавочную поправку, сравнивая показания анероида и ртутного чашечного барометра, указывая при этом дату ее определения. Разность показаний ртутного барометра с учетом всех поправок и анероида с двумя поправками (шкаловой и температурной) будет добавочной поправкой к анероиду.

Алгебраическую сумму трех поправок (шкаловой, температурной и добавочной) называют суммарной поправкой к анероиду. Чтобы получить исправленный отсчет, показание анероида исправляют суммарной поправкой с учетом ее знака.

**Барограф метеорологический М-22АН.** Применяют для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления и определения характеристики барометрической тенденции.

Барограф состоит из блока мембранных анероидных коробок, передающего механизма, регистрирующей части (стрелка с пером и барабан с часовым механизмом), температурного компенсатора, корпуса.

**Устройство** барографа показано на рисунке 6.5. Приемная часть барографа — бароблок состоит из пяти мембран 11, которые скреплены между собой винтовыми соединениями, а воздух из них выкачан. Нижнее основание бароблока неподвижно укреплено на пластинке температурного биметаллического компенсатора, смонтированного на нижней стороне платы 12, а верхняя мембрана бароблока соединена тягой 5 с передающим механизмом прибора. При увеличении атмосферного давления гофрированные полые мембраны сжимаются и весь вертикально расположенный бароблок укорачивается. При уменьшении атмосферного давления гофрированные полые мембраны разжимаются за счет собственной упругости, бароблок при этом удлиняется.

Передающий механизм барографа — это система рычагов. Деформацию бароблока через тягу 5 принимает на себя рычаг 4 с шарниром, который находится в подвижном кронштейне 3, и передает эту деформацию с помощью тяги 7 на рычаг 6, расположенный на одной оси 8 со стрелкой 13 с пером на конце. Положение подвижного кронштейна 3, имеющего шарнир в кронштейне 1, фиксируется сверху винтом 2, а снизу — упорной пружиной. Поворачивая винт 2, можно перемещать подвижный кронштейн вокруг его шарнира и таким образом изменять положение всей системы рычагов, не деформируя бароблок. Винт 2 поэтому является регулировочным винтом, с его помощью можно установить стрелку с пером на нужное деление шкалы давления на ленте барографа.

Регистрирующей частью прибора являются стрелка с пером и барабан 14 с часовым механизмом внутри и надетой на барабан лентой ЛМ-1М. На ленте горизонтальные линии — это шкала давления от 960 до 1050 гПа с ценой деления 0,2 гПа. Вертикальные дуги на ленте — это шкала времени. В суточной модели барографа цена деления соответствует 15 мин, у недельного — 2 ч. Барабан вращается с помощью часового механизма вокруг неподвижной оси, при этом стрелка с пером, заправленным глицириновыми чернилами, рисует на барабане линию записи изменения атмосферного давления за сутки или за неделю — барограмму.

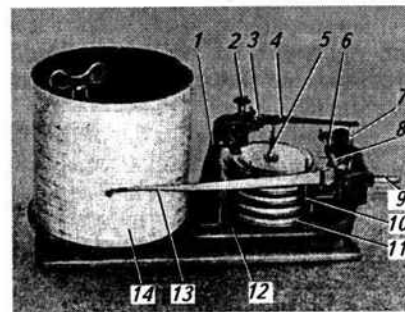


Рис. 6.5. Барограф метеорологический М-22АН:

1, 3 — кронштейны; 2 — регулировочный винт; 4, 6 — рычаги; 5, 7 — тяги; 8 — ось; 9 — кнопка; 10 — арретир; 11 — бароблок из пяти мембран; 12 — плата; 13 — стрелка с пером; 14 — барабан с часовым механизмом и лентой

Барограф устанавливают в помещении на горизонтальной полке недалеко от ртутного чашечного барометра, вдали от отопительных устройств и окон, чтобы солнечные лучи не попадали на барограф.

Крепят ленты на барабане барографа и заменяют их так же, как и у термографа. После установки ленты на барабан самописца регулировочным винтом 2 стрелку с пером поворотом арретира подводят к ленте так, чтобы положение пера соответствовало значению атмосферного давления, измеренного ртутным барометром. В сроки наблюдений кнопкой 9 делают засечки на ленте барографа для последующей обработки ленты.

Часовой механизм барабана заводят регулярно один раз в неделю. Часовой механизм необходимо регулировать, если часы спешат или отстают более чем на 10 мин в сутки. Регулируют ход часов передвижением с делки регулятора часового хода. Для доступа к регулятору хода часового механизма в верхней крышке барабана сделано отверстие.

Барограф помещен в пластмассовый корпус с откидной крышкой. Крышку корпуса открывают за рукоятку при одновременном нажатии на кнопку замка.

## БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Цель нивелирования — нахождение превышения на местности одной точки над другой и построение изогипс, т. е. топографических карт. Эту задачу можно решить с помощью барометра-анероида.

Небольшие (до 1000 м) превышения можно рассчитывать по приближенной барометрической формуле Бабинэ:

$$h = \frac{8000(p_1 - p_2)2}{p_1 + p_2}(1 + \alpha t), \quad (6.1)$$

где  $h$  — превышение, м;  $p_1$  и  $p_2$  — давление на нижнем и верхнем уровнях, гПа;  $t$  — средняя температура воздуха между нижним и верхним уровнями,  $t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ ;  $\alpha$  — температурный коэффициент расширения воздуха,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha = \frac{1}{273}$ .

Формулу (6.1) можно использовать в практике сельского хозяйства для построения топографических карт в сильнопересеченной местности, где геодезическое нивелирование применять затруднительно.

Для барометрического нивелирования можно применять барометрическую ступень — расстояние, м, по вертикали, на котором

давление меняется на 1 гПа, выражаемую формулой

$$h = \frac{8000}{p}(1 + \alpha t), \quad (6.2)$$

где  $p$  — давление, гПа;  $t$  — температура в точке, для которой вычисляют барометрическую ступень,  $^{\circ}\text{C}$ .

В числителе формулы (6.2) цифра 8000 означает высоту в метрах так называемой однородной атмосферы, т. е. такой атмосферы, плотность которой с высотой не меняется. Тогда при неизменной плотности воздуха, равной ее значению на уровне моря, вся атмосфера уместилась бы в слое от 0 до 8000 м.

Барометрическая ступень  $h$  зависит от плотности. С увеличением высоты над уровнем моря плотность воздуха уменьшается, что приводит к росту барометрической ступени при увеличении высоты. Плотность воздуха зависит и от его температуры. Барометрическая ступень в теплом воздухе больше, чем в холодном (табл. 6.1).

6.1. Барометрическая ступень  $h$ , м/гПа, при разной температуре и давлении (по Л. Т. Матвееву)

| Давление, гПа | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |      |      |      |      |
|---------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|               | -40                             | -20  | 0    | 20   | 40   |
| 1000          | 6,7                             | 7,4  | 8,0  | 8,6  | 9,3  |
| 500           | 13,4                            | 14,7 | 16,0 | 17,3 | 18,6 |
| 100           | 67,2                            | 73,6 | 80,0 | 86,4 | 92,8 |

Чем меньше барометрическая ступень, тем быстрее убывает с высотой давление.

Зависимость плотности воздуха от температуры обратная. Чем ниже температура воздуха, тем больше его плотность и тем меньше значение барометрической ступени. Следовательно, при одном и том же давлении барометрическая ступень увеличивается с ростом температуры воздуха.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение атмосферного давления.** 1. Делают отчет температуры прибора с точностью до 0,1  $^{\circ}\text{C}$  при горизонтальном положении барометра-анероида.

2. Делают отчет давления по шкале с точностью до 0,1 мм рт. ст. или 0,1 гПа, предварительно слегка постучав пальцем по стеклу прибора.

3. Выписывают из поверочного свидетельства анероида значения шкаловой и добавочной поправок и рассчитывают температурную поправку.

4. Определяют суммарную поправку как сумму шкаловой, температурной и добавочной поправок.

5. Получают исправленное значение атмосферного давления введением в отсчет суммарной поправки.

6. Записывают результаты наблюдений за атмосферным давлением в таблицу 6.2.

6.2. Форма записи измерений по anerоиду

| Наименование прибора   | Отсчет | Суммарная поправка | Исправленное значение |
|------------------------|--------|--------------------|-----------------------|
| Анероид                |        |                    |                       |
| Термометр при анероиде |        |                    |                       |

Расчет поправок анероида

| Шкаловая | Приведенная к 0° | Добавочная | Суммарная |
|----------|------------------|------------|-----------|
|          |                  |            |           |

## Задание 2. Расчет барометрической ступени и разности высот.

1. Выполняют расчет по формуле (6.2), используя измеренные значения температуры и давления (с учетом поправок).

2. Измеряют температуру и давление воздуха в двух местах с различной высотой и определяют превышение между ними по формуле (6.1).

3. Записывают результаты измерений и расчетов в таблицу 6.3.

6.3. Форма записи измерений и расчетов при барометрическом нивелировании

| Нижний уровень |  | Верхний уровень |  |
|----------------|--|-----------------|--|
| $P_1$          |  | $P_2$           |  |
| $t_1$          |  | $t_2$           |  |

Превышение  $h$

## Контрольные вопросы

1. Что называют атмосферным давлением? 2. В каких единицах измеряют атмосферное давление? 3. Что такое нормальное атмосферное давление и каково его численное значение? 4. Как изменяется атмосферное давление с высотой? 5. Каково значение измерений атмосферного давления в составлении прогнозов погоды? 6. Какова связь горизонтального градиента давления и ветра?

# Лабораторная работа 7 НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЕТРОМ

Ветер — это движение воздуха относительно земной поверхности, в котором преобладает горизонтальная составляющая.

Ветер способствует перемешиванию воздуха, выравнивая при этом его температуру, влажность и другие физические характеристики. Ветер — экологически чистый и возобновляемый источник энергии. Ветер переносит семена и споры растений, расширяя их ареал, и способствует опылению.

Отрицательное действие ветра состоит в усилении непродуктивного испарения с поверхности почвы, обуславливающего почвенную засуху, а также в ветровой эрозии и усилении повреждения растений при суховеях. Штормовой ветер в ураганах и тайфунах, в смерчах разрушает постройки, вызывает пыльные бури, наводнения. Полегание посевов, их выдувание тоже связано с сильным ветром.

Ветер характеризуется тремя параметрами: направлением, скоростью и порывистостью.

**Направление ветра** измеряют в румбах или в градусах. В метеорологии для этой цели применяют 16 румбов (рис. 7.1), для обозначения которых используют начальные буквы сторон света:

С — север; ССВ — северо-северо-восток; СВ — северо-восток; ВСВ — востоко-северо-восток; В — восток; ВЮВ — востоко-юго-восток; ЮВ — юго-восток; ЮЮВ — юго-юго-восток; Ю — юг; ЮЮЗ — юго-юго-запад; ЮЗ — юго-запад; ЗЮЗ — западо-юго-запад; З — запад; ЗСЗ — западо-северо-запад; СЗ — северо-запад; ССЗ — северо-северо-запад.

Например, если направление ветра востоко-северо-восток (ВСВ), то ветер дует с этого направления на западо-юго-запад (ЗЮЗ).

Расстояние в градусах между соседними румбами составляет  $22,5^\circ$  ( $360^\circ : 16 = 22^\circ 30'$ ).

**Скорость и порывистость** ветра измеряют в метрах в секунду (м/с) или в километрах в час (км/ч). Для перевода скорости из метров

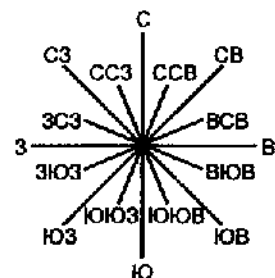


Рис. 7.1. Расположение румбов

в секунду в километр час надо ее умножить на 3,6. Порывы ветра возникают из-за турбулентности движения воздуха относительно земной поверхности. Чем выше скорость ветра, тем больше турбулентность, тем сильнее порывы ветра.

Скорость и направление ветра надо учитывать при проведении подкормки растений удобрениями, при опылении сельскохозяйственных угодий ядохимикатами с применением сельскохозяйственной авиации, при дождевании.

Направление, скорость и порывистость ветра измеряют флюгерами, анемометрами, анеморумбографами.

При отсутствии на метеостанции сетевого питания параметры ветра измеряют по комплексу флюгеров: флюгером с легкой доской измеряют скорость ветра от 0 до 10 м/с (верхний предел измерения 20 м/с), флюгером с тяжелой доской — от 10 до 40 м/с. Если в районе ветровых наблюдений повторяемость сильных ветров высока, то необходимо установить оба флюгера — и с легкой, и с тяжелой доской.

**Флюгер стационарный ФВЛ, ФВТ** (Флюгер ФВЛ — флюгер Вильда с легкой доской, флюгер ФВТ — флюгер Вильда с тяжелой доской). Конструкция флюгеров, применяемых до сих пор на метеостанциях, разработана Г. Вильдом в 60-х годах XIX в. Положительные стороны конструкции — простота, отсутствие зависимости от электропитания и минимальное техническое обслуживание.

Устройство флюгера показано на рисунке 7.2. Для измерения направления ветра служит двухлопастная флюгарка 1 и муфта 8 с восемью штифтами, указывающими направление основных восьми румбов.

Флюгарка состоит из противовеса в виде металлического шара (вся конструкция флюгера металлическая), навинченного на штангу, которая заканчивается хвостовой частью из двух лопастей, которые расположены под углом 20° друг к другу. Флюгарка укреплена на трубке 7, надетой на заостренный конец неподвижной оси 9, и свободно вращается вокруг нее. Флюгарку устанавливают в потоке ветра противо-

весом навстречу воздушному потоку. Двухлопастная хвостовая часть придает флюгарке устойчивость в потоке ветра. Положение противовеса флюгарки относительно восьми штифтов позволяет определять направление ветра. Один из штифтов снабжен буквой N или С и указывает на север.

Верхняя часть флюгера предназначена для измерения скорости и порывов ветра. Она жестко соединена с флюгаркой с помощью трубки 7. Приемником скорости ветра служит прямоугольная доска 6, свободно вращающаяся на горизонтальной оси 3, закрепленной в упорах рамки 2, которая перпендикулярна положению флюгарки. Поэтому ось вращения 3 доски в потоке воздуха всегда устанавливается перпендикулярно вектору скорости ветра. Под действием ветра, в зависимости от его скорости, доска 6 отклоняется на тот или иной угол от своего отвесного положения (при штиле). Рамка 2 имеет дугу 5 с восемью штифтами, по которым отсчитывают положение доски. На рамке для уравнивания дуги закреплен противовес 4. Нумерация штифтов от 0 до 7. Четные штифты длинные, а нечетные — короткие. Дуга со штифтами — это шкала для измерения скорости и порывов ветра.

Для определения скорости ветра в метрах в секунду по флюгеру с легкой (200 г) и тяжелой (800 г) досками используют таблицу 7.1.

7.1. Положение легкой и тяжелой досок флюгера в зависимости от скорости ветра

| Положение доски относительно номера штифта | Скорость ветра, м/с |               | Положение доски относительно номера штифта | Скорость ветра, м/с |               |
|--------------------------------------------|---------------------|---------------|--------------------------------------------|---------------------|---------------|
|                                            | легкая доска        | тяжелая доска |                                            | легкая доска        | тяжелая доска |
| 0                                          | 0                   | 0             | 4                                          | 8                   | 16            |
| 0...1                                      | 1                   | 2             | 4...5                                      | 9                   | 18            |
| 1                                          | 2                   | 4             | 5                                          | 10                  | 20            |
| 1...2                                      | 3                   | 6             | 5...6                                      | 12                  | 24            |
| 2                                          | 4                   | 8             | 6                                          | 14                  | 28            |
| 2...3                                      | 5                   | 10            | 6...7                                      | 17                  | 34            |
| 3                                          | 6                   | 12            | 7                                          | 20                  | 40            |
| 3...4                                      | 7                   | 14            | >7                                         | >20                 | >40           |

Устанавливают флюгер на открытом месте на мачте высотой 10...12 м от поверхности земли. Если соседние здания закрывают флюгер от ветра, его можно установить на крыше здания, но при этом необходимо, чтобы флюгер возвышался над крышей здания не менее чем на 4 м.

При установке флюгер ориентируют так, чтобы штифт с буквой N или С был направлен строго на север. Ориентируют флюгер двумя способами: по компасу и по полуденной линии.

Для ориентировки флюгера по компасу необходимо знать значение магнитного склонения для данного места. Магнитное склонение  $\delta$  — это угол между направлением на географический северный полюс и на магнитный. Географическим меридианом при

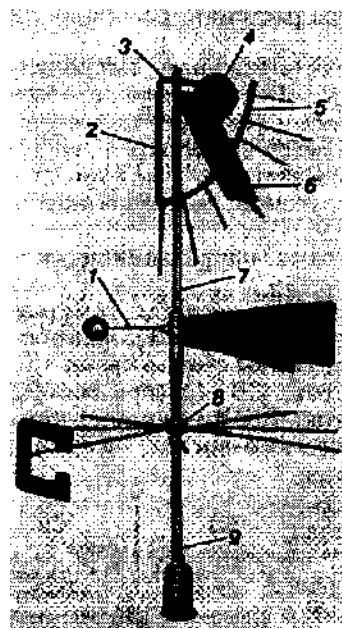


Рис. 7.2. Флюгер стационарный ФВЛ, ФВТ:

1 — флюгарка; 2 — рамка; 3 — горизонтальная ось; 4 — противовес; 5 — дуга со штифтами; 6 — доска; 7 — трубка; 8 — муфта; 9 — неподвижная ось

этом является линия, отклоняющаяся от направления на магнитный северный полюс на угол, равный магнитному склонению данного места наблюдений.

Второй способ ориентировки флюгера по полуденной линии применяют в солнечную погоду. При этом в истинный полдень тень от мачты флюгера будет самой короткой и будет совпадать с направлением юг — север, т. е. с географическим меридианом. Истинный полдень — это момент времени, когда солнце занимает наивысшее положение над линией горизонта. Тень от мачты флюгера есть полуденная линия в момент наступления истинного полдня. Совместив штифт с буквой N или S с полуденной линией, ориентируют флюгер точно по сторонам света.

При измерении направления ветра наблюдателю следует встать около мачты флюгера и отметить среднее за 2 мин положение противовеса флюгарки относительно восьми штифтов. Измеренное направление записывают в таблицу 7.2 начальными буквами румба, например: ВЮВ — востоко-юго-восток.

7.2. Образец записи измерений скорости и направления ветра по флюгеру Виланд

| Направление ветра | Скорость ветра          |      |
|-------------------|-------------------------|------|
|                   | среднее положение доски | м/с  |
| ВЮВ               | 1—2 (3)                 | 3(6) |

Для определения скорости и порывов ветра наблюдатель должен отойти от мачты флюгера и встать в направлении, перпендикулярном к положению флюгарки, чтобы лучше отсчитывать по дуге со штифтами положение доски. Отмечают и записывают в таблице 7.2 среднее за 2 мин положение доски и ее максимальное отклонение (порывы ветра), например: 1—2 (3), т. е. среднее за 2 мин положение доски между первым и вторым штифтами, а максимальное отклонение — до третьего штифта. После этого по номеру штифтов (см. табл. 7.1) переводят положение доски в скорость ветра в метрах в секунду. Наблюдения по флюгеру позволяют отметить характер ветра (ровный, порывистый, меняющий свое направление). При скоростях ветра больше 10 м/с измерения проводят по флюгеру с тяжелой доской.

**Анеморумбограф М63МР.** Прибор предназначен для дистанционного измерения мгновенной, максимальной и средней скорости ветра и мгновенного направления ветра и выдачи результатов измерения на компьютер.

Основные составные части анеморумбографа — датчик ветра, пульт и кабель (рис. 7.3).

Диапазон измерения и регистрации мгновенной скорости ветра от 1,5 до 60 м/с, при измерении средней скорости ветра — от 1,2 до 40, при измерении максимальной скорости ветра — от

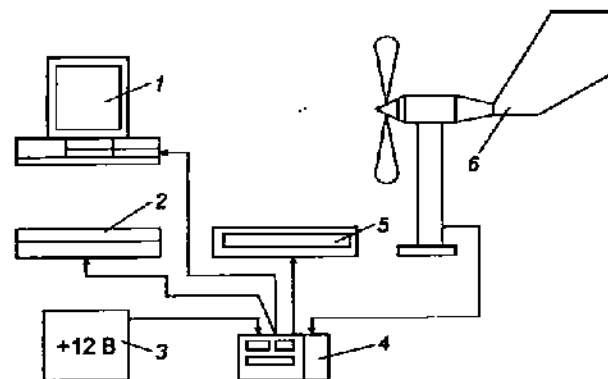


Рис. 7.3. Электрическая структурная схема анеморумбографа М63МР:

1 — компьютер; 2 — принтер; 3 — блок питания; 4 — пульт; 5 — регистратор; 6 — датчик ветра

3 до 60 м/с, при измерении и регистрации направления ветра — от 0° до 360°.

Устанавливают пульт, регистратор, принтер или компьютер в помещении, а датчик ветра — на мачте на высоте 8...12 м либо на крыше здания на высоте не менее 4 м.

Измерения по анеморумбографу сводятся к отсчетам параметров ветра по индикаторам пульта (скорость и направление), отметкам на диаграммной ленте регистратора, отпечаткам на бумаге принтера и изображениям на мониторе компьютера. Измеряют мгновенную и максимальную скорости и направление ветра автоматически, через каждые 3 с на индикаторах пульта значение скорости обновляется, а через каждые 15 с обновляются направления ветра.

Измеряют параметры ветра в такой последовательности.

1. Включают тумблер «сеть» питания прибора, при этом загорится светодиод наличия питания.

2. Нажимают кнопку «сброс», а потом кнопку «работа».

3. Нажимают кнопку «мгн» для измерения мгновенной скорости и направления ветра и отсчитывают их значения по индикаторам «скорость» и «направление».

4. Нажимают для измерения максимальной скорости ветра кнопку «макс», при этом на индикаторах «скорость» появляется числовое значение максимальной скорости ветра за предыдущий синоптический срок. После отсчета нажимают кнопку «сброс» и кнопку «работа» до следующего измерения максимальной скорости.

5. Нажимают при измерении средней скорости ветра кнопку «средн» и кнопку «2 мин (10 мин)», при этом на индикаторах «скорость» появляются символы «— — —» и сохраняются на время набора средней скорости ветра. Через 2 мин (10 мин) после нажатия

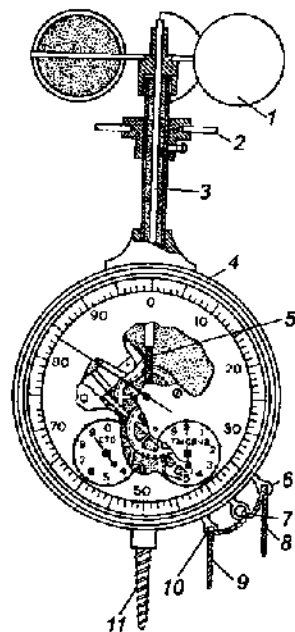


Рис. 7.4. Анемометр ручной чашечный МС-13:

1 — вертушка; 2 — защитные дужки; 3 — ось; 4 — корпус; 5 — бесконечный винт-червяк; 6 и 10 — ушки; 7 — аррестир; 8, 9 — шнуры; 11 — винт

ний находится в корпусе 4 и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками на циферблате, имеющем три шкалы: единиц, сотен и тысяч делений.

Шкала единиц (и десятков) разбита на 100 делений. Один оборот вертушки передвигает стрелку на одно деление шкалы. Две другие шкалы имеют по 10 делений, по ним отсчитывают сотни и тысячи оборотов. Когда стрелка большого круга проходит полный оборот, стрелка по шкале «сто» перемещается на одно деление, а когда 10 оборотов, то стрелка смещается на 10 делений по шкале «сто» и на одно деление по шкале «тысяча».

Счетный механизм включают и выключают аррестиром 7. Движением аррестира вверх выключают счетный механизм анемометра, стрелки при этом не двигаются, несмотря на ветер, движением аррестира вниз счетчик включается. По обе стороны аррестира в корпус прибора ввинчены два ушка 6 и 10, через которые продева-

кнопки «2 мин (10 мин)» символы «— —» сменяются числовым значением средней скорости ветра.

**Анемометр ручной чашечный МС-13.** Прибор предназначен для измерения средней скорости ветра за небольшие промежутки времени (от 100 с до 10 мин). Пределы измеряемой скорости ветра от 1 до 20 м/с. Погрешность не более 0,3 м/с. Порог чувствительности не более 0,8 м/с. Прибор работает при температуре воздуха от -45 до 50 °С.

Анемометр — прибор компактный и чрезвычайно удобен для работы в полевых условиях. Его широко применяют при исследовании фитолимата в посевах различных культур, в микроклиматических исследованиях для изучения распределения скоростей ветра по вертикали в приземном слое воздуха.

**Устройство** анемометра показано на рисунке 7.4. Приемной частью анемометра является четырехчашечная вертушка 1. Чашки в виде полушарий обращены выпуклостью в одну сторону, что обеспечивает одностороннее вращение вертушки при любом направлении ветра. Вертушка закреплена на вращающейся в опорах оси 3. Нижний конец оси заканчивается бесконечным винтом-червяком 5, который передает вращение оси через зубчатый редуктор на счетный механизм. Послед-

ют концы шнура 8 и 9, прикрепленного узлом к кольцу аррестира. Шнур применяют тогда, когда анемометр установлен высоко.

От механических повреждений вертушка защищена крестовиной из проволочных дужек 2, которая служит также для закрепления верхнего конца оси 3.

На нижней части корпуса анемометра имеется винт 11 для ввинчивания прибора в деревянную стойку при его установке.

**Устанавливают** анемометр для наблюдения на конце двухметрового деревянного шеста. Можно также делать измерения, держа анемометр вертикально в вытянутой руке, при этом наблюдатель должен стоять лицом к ветру, а плоскость циферблата должна быть параллельна направлению ветра.

**Измерения** начинают при выключенном счетном механизме. Сначала отсчитывают на счетчике число тысяч делений, затем — сотен и, наконец, — десятков и единиц. Записывают начальное показание счетчика.

После этого устанавливают анемометр на заданной высоте, выжидают около 30 с, чтобы вращение вертушки стало установившимся, и аррестиром включают счетный механизм, одновременно включают секундомер. Через определенное время (100 с) счетчик выключают и записывают конечный отсчет.

При **обработке** результатов наблюдений по анемометру вычисляют разность показаний счетчика, делят на число секунд, в течение которых счетчик был включен, и получают число делений счетчика в 1 с. Пользуясь тарировочным графиком (рис. 7.5), который имеется в поверочном свидетельстве данного анемометра, переводят число делений счетчика в 1 с ( $n$ ,  $c^{-1}$ ) в скорость ветра в метрах в секунду (м/с).

**Анемометр ручной крыльчатый АСО-3.** Применяют его в основном для измерения скорости ветра в вентиляционных системах, но можно применять для измерения скоростей от 0,1...5 м/с в естественных условиях. Пороговая чувствительность (0,1 м/с) крыльчатого анемометра гораздо выше, чем чашечного. Погрешность измерения — 0,1 м/с. Крыльчатый анемометр (рис. 7.6) хорош для измерения малых скоростей ветра.

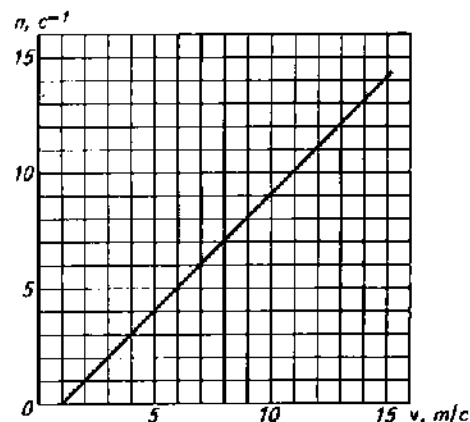


Рис. 7.5. Образец тарировочного графика к анемометру

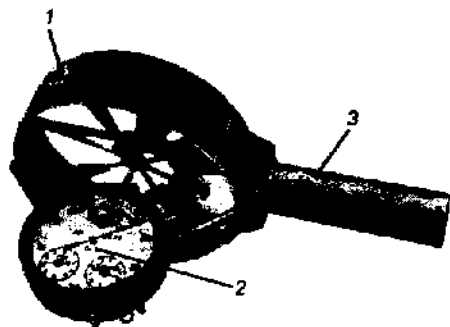


Рис. 7.6. Анемометр ручной крыльчатый АСО-3:

1 — крыльчатая вертушка; 2 — анемометр; 3 — ручка

При измерении крыльчатый анемометр должен быть ориентирован строго по потоку воздуха. Анемометр располагают так, чтобы счетчик был позади крыльчатой вертушки. В остальном порядок наблюдений и их обработка одинаковы с чашечным анемометром.

**Анемометр ручной индукционный АРИ-49.** Предназначен для измерения мгновенных скоростей ветра от 2 до 30 м/с. Порог чувствительности не более 1,5 м/с. Погрешность измерения не более 0,5 м/с.

**Принцип действия** прибора основан на измерении угловой скорости вращения трехчашечной вертушки с помощью магнитоиндукционного тахометра.

**Устройство** ручного индукционного анемометра показано на рисунке 7.7. Чувствительный элемент (приемная часть) прибора — трехчашечная вертушка, закрепленная на вращающейся в подшипниках оси. На нижнем конце оси закреплена магнитная система, состоящая из постоянного магнита, магнитопровода и температурного компенсатора.

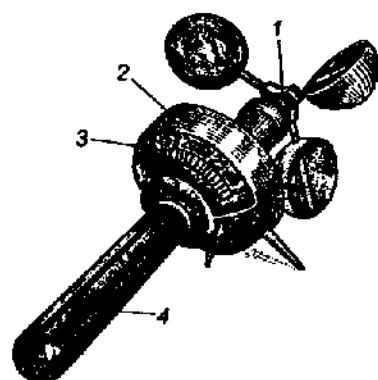


Рис. 7.7. Анемометр ручной индукционный АРИ-49:

1 — трехчашечная вертушка; 2 — магнитоиндукционный тахометр; 3 — шкала; 4 — ручка

В нижней части корпуса анемометра смонтирован преобразователь угловой скорости в угол поворота стрелки относительно шкалы, проградуированной в метрах в секунду. Отсчитывают скорость ветра через окно, имеющееся в нижней части корпуса прибора.

При действии на анемометр воздушного потока вращающаяся вместе с осью магнитная система создает вращающееся магнитное поле, вызывающее в преобразователе индукционный ток и вращающий момент, поворачивающий стрелку. Угол поворота оси в каждый момент времени пропорционален мгновенной скорости ветра.

Прибор снабжен ручкой, за ко-

торую его держат при наблюдениях, а также наконечником, навинчиваемым на хвостовик вместо ручки, когда анемометр устанавливают на деревянном шесте.

## РОЗА ВЕТРОВ

Роза ветров — это графическое изображение преобладающего направления ветра в данной местности за месяц, сезон, год. Наряду с оценкой ресурсов солнечной радиации, тепла и влаги оценка ветрового режима — важная составляющая в характеристике агроклиматических ресурсов местности.

Роза ветров — климатический показатель, применяемый для анализа многолетнего среднего режима ветра.

Для построения графика используют данные о повторяемости направления ветра по каждому из основных восьми румбов. Повторяемость — статистическая характеристика, выражаемая в процентах, которую рассчитывают как отношение числа случаев какого-либо румба к общему числу ветровых наблюдений, выраженное в процентах.

Строят розы ветров (рис. 7.8) следующим образом.

1. Откладывают из одной точки по направлению основных восьми румбов отрезки прямой, соответствующие повторяемости каждого румба в выбранном масштабе.

2. Указывают в центре графика (в кружочке) число случаев со штилем.

3. Соединяют концы отрезков прямыми линиями.

Используя розу ветров в целом за год, можно планировать такие долговременные мероприятия, как насаждение лесозащитных полос. Их ориентируют перпендикулярно преобладающему направлению ветра. Животноводческие фермы в сельской местности, промышленные предприятия в городах надо располагать в направлении, противоположном преобладающему румбу.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Наблюдения по флюгеру Вильда.** 1. Определяют направление ветра. Для этого встают под мачту флюгера и наблюдают в течение 2 мин за положением противовеса флюгарки относительно штифтов, определяют среднее положение противовеса за 2 мин.

2. Определяют скорость и порывы ветра. Для этого отходят от мачты флюгера на 10...15 м в направлении, перпендикулярном положению флюгарки, чтобы хо-

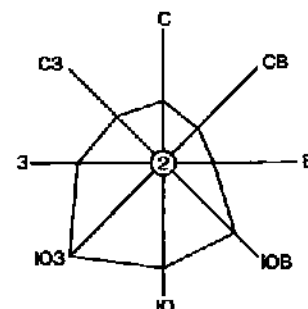


Рис. 7.8. Роза ветров для января

рошо видеть дугу со штифтами и положение доски относительно этой шкалы. Отмечают среднее положение доски флюгера и максимальное ее отклонение (порыв ветра) за 2 мин.

3. Переводят среднее и максимальное отклонения доски флюгера в скорость ветра в метрах в секунду по таблице 7.1.

4. Записывают направление ветра в румбах, скорость и порывы ветра в метрах в секунду в таблице 7.3.

7.3. Форма таблицы для записи наблюдений по флюгеру

| Направление ветра | Скорость ветра          |     |
|-------------------|-------------------------|-----|
|                   | среднее положение доски | м/с |
|                   |                         |     |

**Задание 2. Наблюдения по ручному чашечному анемометру.** 1. Отсчитывают начальное показание счетчика  $N_1$  с точностью до 1 деления шкалы большого круга (при выключенном счетчике).

2. Выжидают 1...2 мин, держа анемометр за винт, расположенный в нижней части корпуса, в вытянутой руке на высоте около 2 м над землей, пока вращение вертушки не станет установившимся (счетный механизм не включать!).

3. Включают арретиром счетчик на 100 с, затем его выключают и отсчитывают показание  $N_2$ . Повторяют измерения еще два раза.

4. Записывают показания счетчика в таблицу 7.4.

7.4. Образец таблицы для записи наблюдений по анемометру

| Отсчет анемометра |       | $N_2 - N_1$ | Число секунд | Деление счетчика в 1 с | Скорость ветра, м/с | Средняя скорость ветра, м/с |
|-------------------|-------|-------------|--------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| $N_1$             | $N_2$ |             |              |                        |                     |                             |
|                   |       |             |              |                        |                     |                             |

5. Определяют, используя тарифовочный график к анемометру, взятый из поверочного свидетельства, скорость ветра по каждому из трех наблюдений, а затем среднюю скорость ветра.

**Задание 2. Роза ветров.** Построить розу ветров по данным ближайшей метеорологической станции за отдельные месяцы, за холодный и теплый сезоны, за год и проанализировать их.

Значения повторяемости, %, направлений ветра за январь и июль, которые также можно использовать для построения розы ветров, приведены в таблице 7.5.

7.5. Повторяемость, %, направлений ветра и среднее число штилей

| Месяц  | С  | СВ | В  | ЮВ | Ю  | ЮЗ | З  | СЗ | Число штилей |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Январь | 6  | 4  | 10 | 15 | 16 | 23 | 13 | 13 | 3            |
| Июль   | 11 | 10 | 10 | 8  | 3  | 11 | 16 | 31 | 2            |

#### Контрольные вопросы

1. Какова причина возникновения ветра в атмосфере? 2. Какими параметрами определяется ветер? 3. В каких единицах измеряют скорость и направление ветра? 4. Как устанавливают флюгер на метеоплощадке, на крыше здания? 5. Как по флюгеру измерить скорость, порывы и направление ветра? 6. Для чего применяют ручной чашечный анемометр? 7. В чем особенность применения крыльчатого анемометра? 8. Какую скорость ветра измеряют с помощью ручного индукционного анемометра АРИ-49? 9. Какие возможности измерения ветрового режима предоставляет анеморумбограф М63МР? 10. Какое значение имеет ветер для сельского хозяйства?

## Лабораторная работа 8

### АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ



Метеорологические наблюдения направлены на изучение различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере. В основу наземных агрометеорологических наблюдений положен принцип сопряженных (параллельных) наблюдений за параметрами состояния растительного покрова, характеристиками состояния и развития физических процессов в приземном слое воздуха и почве, влиянием антропогенного воздействия на среду обитания объектов сельскохозяйственного производства. По результатам сопряженных наблюдений можно оценить количественно влияние условий погоды на развитие и состояние посевов, насаждений, пастбищ, на развитие болезней и вредителей, а также на проведение сельскохозяйственных работ, выпас скота и т. п. Результаты этих наблюдений являются основой для сельскохозяйственной оценки климата и методов агрометеорологических оценок и прогнозов.

Проведение агрометеорологических наблюдений возложено на сеть станций Росгидромета. Кроме того, в коллективных, частных или индивидуальных хозяйствах и других заинтересованных организациях по сокращенной программе наблюдения ведут ведомственные агрометеорологические посты, дополняя посты Росгидромета. Эти наблюдения выполняются по типовой программе и единой методике согласно «Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 11 (2000 г.).

Все регулярные агрометеорологические наблюдения проводят на специальных наблюдательных участках, типичных для окружающих полей (садов, сенокосов, пастбищ, огородов) и по возможности репрезентативных по отношению к метеорологической площадке.

#### ВИДЫ И МЕТОДЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Агрометеорологические наблюдения за сельскохозяйственной культурой проводят по полной или сокращенной (по срокам наблюдений, по наблюдаемым параметрам и др.) программе.

Программа основных наблюдений и работ агрометеорологических станций и постов по сезонам года приведена в таблице 8.1.

**8.1. Типовая полная программа основных агрометеорологических наблюдений для гидрометеорологических станций и постов в теплый и холодный периоды года**

| Вид агрометеорологического наблюдения                                                                                                                                                                                             | Программа         |                              |                          |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                   | гидрометеостанции | агрометеорологического поста | метеорологического поста |            |
|                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                              | I разряда                | II разряда |
| Теплый период года                                                                                                                                                                                                                |                   |                              |                          |            |
| Температура:                                                                                                                                                                                                                      |                   |                              |                          |            |
| пахотного слоя почвы                                                                                                                                                                                                              | +                 | +                            | +                        | +          |
| воды в рисовом чеке                                                                                                                                                                                                               | +                 | +                            | —                        | —          |
| Осадки на сельскохозяйственных полях                                                                                                                                                                                              | +                 | +                            | —                        | —          |
| Влажность верхних слоев почвы (визуальные наблюдения). Почвенные корки                                                                                                                                                            | +                 | +                            | +                        | +          |
| Влажность корнеобитаемого слоя почвы (инструментальные наблюдения)                                                                                                                                                                | +                 | +                            | +                        | —          |
| Фазы развития сельскохозяйственных культур, трав, древесных и кустарниковых растений                                                                                                                                              | +                 | +                            | +                        | +          |
| Состояние сельскохозяйственных культур: густота стояния, высота растений, засоренность посевов, повреждение растений неблагоприятными метеорологическими явлениями, полегание посевов, общая визуальная оценка состояния растений | +                 | +                            | +                        | +          |
| Повреждение растений вредителями и болезнями                                                                                                                                                                                      | +                 | +                            | —                        | —          |
| Формирование элементов продуктивности, растительная масса, структура урожая сельскохозяйственных культур                                                                                                                          | +                 | —                            | —                        | —          |
| Весеннее обследование состояния полевых культур и садов                                                                                                                                                                           | +                 | +                            | +                        | +          |
| Полевые работы                                                                                                                                                                                                                    | +                 | +                            | +                        | +          |
| Холодный период года                                                                                                                                                                                                              |                   |                              |                          |            |
| Температура почвы в зоне узла кушения озимых культур и корневой шейки многолетних трав, корневой системы плодовых                                                                                                                 | +                 | +                            | —                        | —          |

| Вид агрометеорологического наблюдения                                     | Программа         |                              |                          |            |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|------------|
|                                                                           | гидрометеостанции | агрометеорологического поста | метеорологического поста |            |
|                                                                           |                   |                              | I разряда                | II разряда |
| Глубина промерзания и оттаивания почвы (инструментальные наблюдения)      | +                 | +                            | —                        | —          |
| Осеннее обследование состояния зимующих полевых культур                   | +                 | +                            | +                        | +          |
| Определение жизнеспособности зимующих полевых культур и плодовых деревьев | +                 | +                            | —                        | —          |
| Снежный покров на полях с зимующими культурами и в плодово-овощном саду   | +                 | +                            | +                        | +          |

Примечание. Знак «+» — наблюдения проводят, знак «—» — не проводят.

Метеорологическую площадку агрометеорологического поста размером 5 × 6 м располагают на открытом участке, характерном для данной местности (рис. 8.1). На площадке устанавливают следующий минимум оборудования: будку Селянинова с термометрами: срочным, максимальным, минимальным; осадкомер Третьякова; снегомерную рейку (стационарную) М-103-1. Для измерения давления воздуха используют барометр-анероид.

Приборы, используемые на наблюдательных участках: альбедометр походный, психрометр аспирационный и дистанционные приборы для измерения температуры и влажности воздуха среди растений, дождемер полевой М-99, снегомерная рейка переносная М-104-1, снегомер всовой ВС-43, мерзлотометр АМ-21-1, анемо-

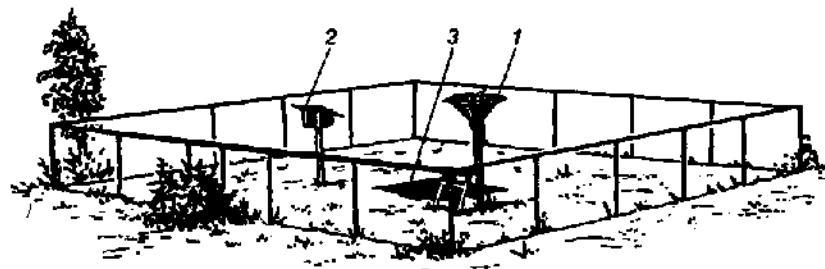


Рис. 8.1. Метеорологическая площадка агрометеорологического поста:

1 — осадкомер Третьякова; 2 — будка Селянинова; 3 — площадка для установки почвенных термометров

метр ручной, почвенные термометры: срочный, максимальный, минимальный, коленчатый, термометр-щуп походный АМ-6, приборы для определения влажности почвы на делянках (бур почвенный, весовые алюминиевые стаканчики, весы электронные, ящик для переноса стаканчиков).

## ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Наблюдательный участок на поле может быть удлиненной или квадратной формы, поделенный на четыре части по 0,25 га каждая, где выделяют специальные места для проведения наблюдений (рис. 8.2).

Виды и методы проведения агрометеорологических наблюдений и определений на наблюдательных участках в *теплый период* года следующие.

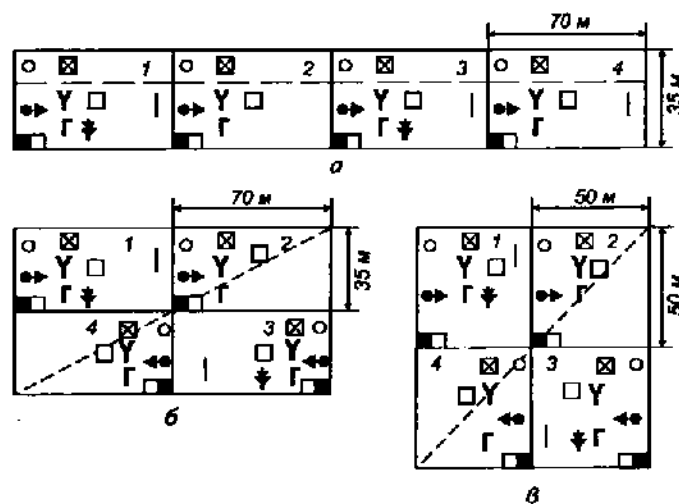
1. Фенологические наблюдения — регулярно, при этом осматривают 40 типичных по своему состоянию на данном участке растений (для полевых культур) — по 10 растений в четырех частях участка — и определяют в процентах, сколько из них имеют признаки наступившей фазы. За начало фазы принято считать день ее наступления не менее чем у 10 % растений, а за массовое наступление фазы — не менее чем у 50 % растений.

На участках, занятых плодовыми культурами, осматривают 20 постоянных экземпляров растений — по 5 в четырех частях участка — и подсчитывают число деревьев (кустов), имеющих признаки этой фазы. Дерево или куст считают вступившими в фазу, если признаки фазы имеются хотя бы на отдельных ветках данного экземпляра.

2. Определение густоты посева (густоты стеблестоя) — в четырехкратной повторности, при рядовом посеве подсчитывают число растений в рядке (на двух смежных рядках длиной по 0,5 м каждый при узкорядном посеве и на двух смежных рядках длиной по 0,5 м каждый при широкорядном посеве). Среднее число растений из четырех повторностей умножают на число рядков на 1 м и рассчитывают густоту стеблестоя на 1 м<sup>2</sup>.

3. Измерение высоты растений — в четырех частях участка (по 10 растений в каждой) в день массового наступления фазы и в последний день декады. У корнеплодов, овощных, бахчевых культур высоту растений не измеряют.

4. Определение засоренности посевов — на глаз, в баллах от 0 до 4 согласно таблице 8.2.



У 5 □ 6 ⊠ 7 Г 8 ♣ 9 ◀ 10 ○ 11 | 12 ■ 13

Рис. 8.2. Примерные схемы организации наблюдательных участков:

а — при удлиненной форме участка, расположенного по диагонали или вдоль поля (280 × 35 м); б и в — при прямоугольной (140 × 70 м) и квадратной (100 × 100 м) формах участков на малых полях, когда диагональ поля менее 380 м; 1, 2, 3 — части наблюдательного участка (повторности); 4 — линия маршрута при проведении снегомерной съемки. Места наблюдений и взятия проб: 5 — для определения фаз развития сельскохозяйственных культур, высоты растений, элементов продуктивности зерновых, бобовых и кукурузы в период листообразования, структуры урожая кукурузы, для учета убранных листьев табака; 6 — густоты стояния растений и стеблей, а также структуры урожая зерновых колосовых и бобовых культур; 7 — массы корнеплодов, клубней и ботвы картофеля, растительного покрова природных кормовых угодий, многолетних и однолетних сенокосов и травосмесей; 8 — элементов продуктивности хлебных зерновых культур (кроме кукурузы); 9 — площади листьев табака и структуры урожая кукурузы в период формирования зерна; 10 — влажности почвы (→ — направление перемещения скважины); 11 — для наблюдений за почвенными корками; 12 — для измерения температуры пахотного слоя почвы весной и на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав зимой, глубины промерзания и оттаивания почвы, высоты снежного покрова; 13 — для определения жизнеспособности озимых зерновых культур и многолетних трав

### 8.2. Оценка интенсивности засоренности посевов

| Интенсивность полегания | Признак                                                                                      | Оценка, баллов |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Полегания нет           | Сорняков нет                                                                                 | 0              |
| Очень слабая            | Сорняки встречаются редко, почти незаметны среди культурных растений                         | 1              |
| Слабая                  | Сорняки заметны только вблизи, издали их не видно                                            | 2              |
| Средняя                 | Сорняки встречаются часто, но не создают условий для заметного угнетения культурных растений | 3              |
| Большая                 | Сорняков много, заметно угнетение культурных растений                                        | 4              |

5. Определение повреждений растений неблагоприятными метеорологическими явлениями. Отмечают характер и степень повреждений растений заморозками, засухами, суховеями, градом, ливнями, пыльными бурями, сильным ветром.

6. Определение повреждений растений вредителями и болезнями проводят в четырех частях наблюдательного участка. Степень повреждения определяют визуально по следующей классификации: повреждены отдельные растения, немногие, многие, большинство, все.

7. Наблюдения за полеганием посевов (табл. 8.3), влажностью соломы, зерна и его прорастанием при неблагоприятных условиях уборки.

### 8.3. Оценка интенсивности полегания растений

| Интенсивность полегания | Признак                                                                                                                                                          | Оценка, баллов |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Очень сильная           | Стебли практически лежат на земле. Механизированная уборка даже при проходе комбайна в одном направлении без значительных потерь урожая невозможна               | 1              |
| Сильная                 | Стебли сильно наклонены. Механизированная уборка возможна только в одном направлении (против направления полегания) с приспособлением для уборки полеглых хлебов | 2              |
| Средняя                 | Стебли сильно наклонены. Механизированная уборка возможна при наличии специальных приспособлений для уборки полеглых посевов, но при этом возможны потери урожая | 3              |
| Слабая                  | Стебли наклонены в слабой степени, как правило, местами. При механизированной уборке затруднения невелики и потери урожая несрезанными колосьями не бывает       | 4              |
| Полегания нет           | Посевы неполеглые                                                                                                                                                | 5              |

8. Определение состояния посевов по пятибалльной шкале ведут на глаз в последний день декады и в даты массового наступления фаз развития, в основном по качественным признакам. Оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур приведена далее.

| Оценка состояния, баллов | Характеристика состояния участка, роста и развития культуры, ожидаемого урожая                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 (отличное)             | Густота стояния растений равномерная, высота одинаковая. Растения мощные, здоровые, хорошо укоренившиеся, с хорошо развитыми и многочисленными соцветиями. Отсутствуют сорняки и повреждения. Рост и развитие растений проходят нормально. Можно ожидать урожай, близкий к максимальному |

- |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 (хорошее)      | Густота стояния растений недостаточно равномерная, местами наблюдают небольшую изреженность, среднюю кустистость, посевы заметно засорены, повреждены вредителями, болезнями и др. Ожидаемый урожай — выше среднего                                                                   |
| 3 (среднее)      | Густота стояния растений не вполне равномерная, высота и кустистость средние, имеются повреждения растений болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями, посевы засорены. Можно ожидать урожай, близкий к среднему многолетнему для данного хозяйства     |
| 2 (плохое)       | Посевы изрежены, густота стояния растений неравномерная. Растения имеют угнетенный вид, небольшую высоту, слабую кустистость. Посевы сильно засорены, повреждены болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Урожай ожидается ниже среднего             |
| 1 (очень плохое) | Полная или почти полная гибель растений. Густота стояния растений очень неравномерная. Посевы сильно изрежены, растения низкорослые, значительно повреждены болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Урожай ожидается очень плохой или его вовсе нет |

Состояние плодово-ягодных культур оценивают также по пятибалльной шкале: 5 баллов — повреждений нет, растения совершенно здоровые; 4 — имеются признаки слабого повреждения растений, листья нормальные, засохших веток и побегов мало; 3 — среднее повреждение, погибло около половины плодушек и молодых побегов, наблюдается выпад полускелетных ветвей и единичных скелетных сучьев; 2 — сильное повреждение, усохла большая часть кроны, куста; 1 балл — полная гибель надземной части.

9. Наблюдения за формированием элементов продуктивности и определение структуры урожая сельскохозяйственных культур. Урожай зерновых колосовых культур определяется следующими элементами: густотой стояния продуктивных стеблей, числом зерен в колосе (метелке) и массой 1000 зерен.

10. Наблюдения за проведением полевых работ с оценкой их качества и влияния на них погодных условий.

11. Наблюдения за условиями выпаса скота с учетом состояния пастбищ.

12. Наблюдения за влажностью почвы в полях севооборота состоят из визуальных наблюдений и инструментальных измерений.

Инструментальные измерения проводят регулярно в теплый период года на восьмой день каждой декады с начала полевых работ и до уборки яровых культур, а на посевах озимых — с момента уборки предшествующей культуры до поздней осени и от даты возобновления вегетации до уборки. Проводят их термостатно-весовым методом.

В холодный период года проводят следующие наблюдения.

1. За температурой, глубиной промерзания и оттаивания почвы и снежным покровом на полях зимующих культур и в плодовом саду.

2. За состоянием зимующих полевых культур и плодовых деревьев (определение их жизнеспособности).

Жизнеспособность зимующих полевых культур определяют не только на агрометеостанциях, но и в хозяйствах агрономы. Ее определяют путем вырубки (по плановым срокам 25 января и 20 февраля) в четырехкратной повторности в поле на посевах зимующих сельскохозяйственных культур монолитов почвы с основанием 30 × 30 см и высотой 15...20 см. Монолиты с растениями доставляют в теплое светлое помещение, где их отращивают. После оттаивания определяют внешний вид (побуревшие, зеленые и т. д.) и фазу развития растений. Через 15 сут оценивают внешний вид растений и учитывают результаты отращивания. Растения выбирают, промывают в воде; затем подсчитывают число живых растений и число погибших. После этого подсчитывают число погибших растений, % от общего их числа, по формуле

$$П = \frac{б \cdot 100}{а}, \quad (8.1)$$

где б — число растений, не давших отрастания; а — общее количество растений.

Для определения жизнеспособности озимых зерновых культур кроме отращивания растений в монолитах почвы (стандартный метод) можно применять и другие методы: отращивание проб в воде; тетразоновый экспресс-метод, позволяющий определить степень повреждения на основе окрашивания проб растений тетразолом; метод биологического контроля — по цвету листьев и состоянию конуса нарастания растений.

У плодовых культур однолетние и двулетние побеги отращивают через 5...7 сут после сильных морозов (–25...–30 °С) с целью выяснения процента погибших листовых и плодовых почек. Для этого срезают по 2...4 веточки у каждой плодовой культуры основных пород (длиной 30...40 см). Отращивают их в отапливаемом помещении 20...25 сут, поместив в сосуд с водой. После прекращения отращивания подсчитывают общее число почек на срезанных ветках данной культуры, число распутившихся, набухших и неразвившихся почек (рис. 8.3).

Неразвившиеся почки считают поврежденными, если они на срезе имеют бурую или светло-желтую окраску. Степень повреждения определяют по числу поврежденных почек в процентах от их общего числа.

Для определения состояния однолетней и двухлетней древесины веточки разрезают вдоль и рассматривают их цвет. Неповреж-



Рис. 8.3. Распускание почек иници:

*а* — почка набухла, но зачатки соцветий в них погибли во время сильных морозов, сохранилась одна плодовая почка на конце побега; *б* — все почки, за исключением одной листовой и одной плодовой, погибли во время морозов

денная древесина имеет, как правило, светло-зеленую окраску, поврежденная — темную окраску.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание.** Программа агрометеорологических наблюдений и работ. Составляют программу наблюдений и работ (визуальных и инструментальных) агрометеорологического поста на метеорологической площадке и на основных полях севооборота с указанием сроков их выполнения и применяемых приборов и оборудования. Хозяйство возделывает озимые и яровые зерновые, многолетние травы и имеет плодовый сад. Результаты представляют в форме таблицы 8.4.

8.4. Программа агрометеорологических наблюдений и работ

| Наименование наблюдений и работ                              | Сроки наблюдений | Применяемые приборы и оборудование |
|--------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| <i>Наблюдения на метеорологической площадке поста</i>        |                  |                                    |
| <i>Агрометеорологические наблюдения на полях севооборота</i> |                  |                                    |
| <i>Использование информации о результатах работы поста</i>   |                  |                                    |

#### Контрольные вопросы

1. Чем отличаются наземные агрометеорологические наблюдения от метеорологических? Где их проводят? 2. Какие виды наблюдений и работ проводят на агрометеорологическом посту в зависимости от времени года? 3. Где применяют данные агрометеорологических наблюдений? 4. В чем заключается стандартный метод определения жизнеспособности зимующих полевых культур? 5. Какие перспективные методы агрометеорологических наблюдений вы знаете?

## Лабораторная работа 9 ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ



Наблюдения за ростом и развитием сельскохозяйственных культур не могут дать полной и правильной информации, если при этом не учитывать основные факторы плодородия почв, и прежде всего ее влажность. Почвенная влага — один из важнейших факторов, определяющих эффективность применения удобрений, многих приемов агротехники, развитие биологических процессов и в целом состояние и продуктивность растений.

Содержание влаги в почве в пространстве и во времени постоянно меняется за счет взаимосвязанных процессов обмена влагой между почвой, атмосферой и растениями, при этом изменяются ее свойства и доступность, что и обуславливает необходимость ее изучения.

На практике приняты следующие основные методы определения содержания влаги в почве: *термостатно-весовой* (стандартный); *тензиметрический*, где определяют «сосушку почвы»; *блоков или омический*, с помощью датчиков; *радиоактивный*, с использованием различных излучений; *гамма-скопический*, основанный на изменении пучка гамма-квантов от влагосодержания почвы; *нейтронный* — на закономерности замедления быстрых нейтронов в воде.

Изменения влажности почвы на наблюдательных участках оценивают и визуально, и инструментально, используя, как правило, стандартный метод (термостатно-весовой).

#### ВИЗУАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Визуальный метод оценки влажности верхних слоев почвы заключается в определении степени увлажнения почвы (в баллах) по ее консистенции на глаз и на ощупь по признакам, приведенным в таблице 9.1.

Наблюдения за влажностью верхних слоев почвы (0...2 и 10...12 см) проводят на участке не менее 3 × 3 м, в двукратной повторности ежедневно в 8...9 ч утра в теплый период года. Из вспо-

### 9.1. Оценка степени увлажнения или состояния почвы

| Степень увлажнения или состояния почвы | Консистенция почвы  | Оценка, балл |
|----------------------------------------|---------------------|--------------|
| Покрывается снегом                     | Любая               | 0            |
| Избыточно увлажненная                  | Текучая             | 1            |
| Сильно увлажненная                     | Липкая              | 2            |
| Хорошо увлажненная                     | Мягкопластичная     | 3            |
| Слабо увлажненная                      | Твердопластичная    | 4            |
| Сухая                                  | Твердая или сыпучая | 5            |
| Мерзлая                                | Замерзшая           | 6            |

могательного оборудования используют нож или шпатель для взятия с определенной глубины пробы почвы, фарфоровую или металлическую чашку вместимостью 150...300 см<sup>3</sup>.

Текучей (избыточно увлажненной) считают помещенную в чашку почву, если бороздка, сделанная в ней, заплывает более чем на половину своей высоты (рис. 9.1).

Мягкопластичной (хорошо увлажненной) почву считают, если бороздка в чашке не заплывает и почва не прилипает к шпателю. Такая почва легко раскатывается в шнур толщиной 3...4 мм. Для определения липкости легко надавливают комком почвы на кисть руки — липкая (сильно увлажненная) почва оставляет на ней грязный след (рис. 9.2).

Твердопластичной (слабо увлажненной) почву считают, если она не раскатывается в шнур, а распадается на небольшие куски, но при этом образует сравнительно связный комок. Твердой или сыпучей (сухой) почву считают, когда комок при сдавливании рукой не меняет формы, а отдельные куски пробы не слипаются.



Рис. 9.1. Определение текучего состояния почвы



Рис. 9.2. Определение липкого состояния почвы

### ТЕРМОСТАТНО-ВЕСОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Термостатно-весовым методом (ТВМ) определяют влажность почвы, выраженную в процентах массы абсолютно сухой почвы.

Процесс определения влажности почвы термостатно-весовым методом состоит из полевых и лабораторных работ и заключается во взятии проб почвы из скважин в определенных местах наблюдательного участка, последующем взвешивании, высушивании и вычислении влажности почвы.

Пробы почвы для определения влажности отбирают на наблюдательном

участке в четырехкратной повторности, как правило, до глубины 100 см, ежедекадно (по восьмым дням декады) в зависимости от сроков проведения сельскохозяйственных работ и состояния культур.

В орошаемых районах влажность почвы, кроме декадных сроков, определяют дополнительно перед каждым поливом (для расчета поливных норм) и после него (для расчета фактически поступившей в почву воды).

Отбирают пробы почвы основным или упрощенным способами. По основному способу пробы отбирают в слоях 0...5; 5...10; 10...20 см и далее через 10 см на всю глубину определения влажности почвы. По упрощенному способу пробы почвы отбирают через 20 см в слоях 0...10; 20...30; 40...50; 60...70 и 80...90 см. Пробы почвы из слоев 10...20; 30...40; 50...60 и 70...80 см не учитывают. Упрощенный способ применяют при маршрутных обследованиях сельскохозяйственных угодий на однородных по гранулометрическому составу почвах.

Инструментальные наблюдения за влажностью почвы проводят на полях по программе, исходя из необходимого объема информации для изучения агрометеорологического режима произрастания сельскохозяйственных культур и обслуживания потребителей.

Влажность почвы ТВМ определяют следующими средствами измерений и вспомогательными устройствами: бур почвенный АМ-16 (АМ-26М), технические весы, сушильный шкаф, стаканчики весовые ВС-1. Пробы почвы в слоях, располагающихся на разных глубинах, отбирают с помощью почвенного бура АМ-16 (рис. 9.3).

Отбирать пробы почвы удобно почвенными бурами небольшого диаметра (25...30 мм), например саратовским системы Измайловского или деркульским. Рабочая часть (буровые стаканы) изготовлена из листовой стали не толще 2 мм, а режущие края остро заточены (см. рис. 9.3, поз. 7 и 5). Производительность труда при отборе проб зависит от качества бура, который должен быть удобным, легким и прочным.

На каждом наблюдательном участке взятие проб на влажность необходимо проводить последовательно, соблюдая очередность повторности наблюдений по номерам скважин. Пробы почвы отбирают в междурядье, а на посадках картофеля — в рядке.

На наблюдательных участках с плодовыми насаждениями скважины располагают на расстоянии от штамба дерева, равном примерно радиусу кроны, смещаясь по часовой стрелке вокруг дерева в каждый последующий срок взятия проб.

Пробы почвы следует брать из нижней трети бурового стакана, внимательно следя, чтобы в них случайно не попала почва других горизонтов. Взятую пробу почвы помещают в пронумерованный стаканчик с плотной крышкой, масса которого известна. Образец почвы должен занимать не менее половины объема весового ста-

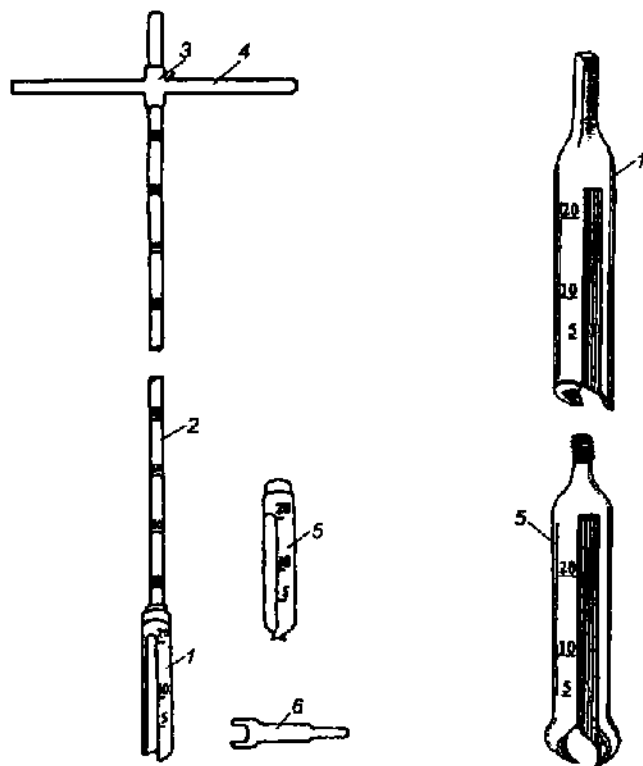


Рис. 9.3. Почвенный бур АМ-16:

1, 5 — буровые стаканы; 2 — штанга с контргайкой; 3 — фиксатор; 4 — рукоятка; 6 — ключ-чистилка

канчика для суглинистых и глинистых почв и две трети стаканчика для песчаных и супесчаных почв, с общей массой влажной почвы 25...50 г. После взятия пробы почвы стаканчик быстро закрывают крышкой, чтобы избежать потерь влаги при переноске и временном хранении. Работу в поле по взятию проб, с последующим взвешиванием влажной почвы в лаборатории, следует планировать и проводить в течение суток.

Отдельные скважины на площадке необходимо располагать не ближе 50 см одна от другой и тщательно забивать их почвой после отбора проб, чтобы избежать затекания в них воды и искажения водного режима. Забитые скважины следует отмечать кольшпком, чтобы не попасть в эту точку при повторном бурении.

Результаты наблюдений в поле записывают по форме таблицы 9.2. В верхней части таблицы записывают номер участка, название

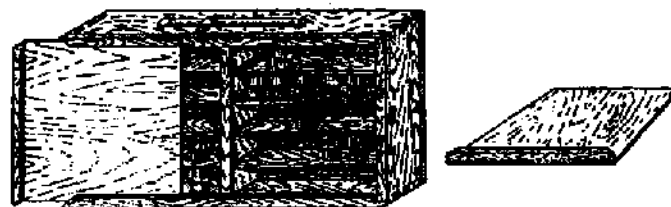


Рис. 9.4. Ящик с алюминиевыми стаканчиками для определения влажности почвы

культуры, занимающей поле, дату (месяц и число) отбора проб почвы, время начала и окончания отбора проб на повторности и время взвешивания. В графе «Номер скважины (состояние культуры)» кроме номера скважины записывают фазу развития, оценку состояния культуры, засоренность в баллах.

Сразу же после записи результатов наблюдений стаканчик с пробой почвы должен быть поставлен в ящик, вертикально — крышкой вверх (рис. 9.4). В этот же день стаканчики с пробами почвы доставляют в помещение станции (поста), где их взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г (торфяных почв до 0,05 г).

После взвешивания взятые в поле пробы почвы высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы (рис. 9.5). Продолжительность сушки для песчаных и суглинистых почв 6...7 ч, для глинистых 8...10, для торфяных 10...12 ч. Чтобы испарение было равномерным и полным и не было потерь органического вещества почвы, температура сушки не должна превышать 105 °С. Стаканчики с почвой после высушивания закрывают крышками и охлаждают, после чего еще раз взвешивают. Контрольное взвешивание после двухчасовой повторной сушки не должно давать расхождения массы пробы почвы более чем на 0,1 г. Полученные результаты записывают в таблицу «Определение влажности почвы» в строку, соответствующую номеру стаканчика и глубине взятия пробы (см. табл. 9.2).

Влажность почвы  $V$  определяют по разности массы почвы до и после высушивания и вы-

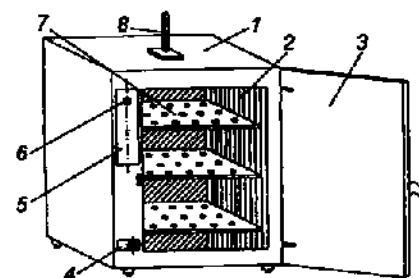


Рис. 9.5. Электронкаф сушильный:

1 — корпус; 2 — камера; 3 — дверь; 4 — выключатель с индикатором; 5 — панель; 6 — ручка терморегулятора; 7 — полка; 8 — термометр

числяют в процентах массы абсолютно сухой почвы по формуле

$$V = \frac{M_v \cdot 100}{M_c}, \quad (9.1)$$

где  $M_v$  — масса воды, испарившейся из почвы во время высушивания, г;  $M_c$  — масса пробы почвы после высушивания, г.

Результаты определения влажности почвы используют для расчета запасов продуктивной влаги в почве, которые выражают в миллиметрах.

## ПРОДУКТИВНАЯ ВЛАГА В ПОЧВЕ И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Запасы продуктивной влаги в почве — один из важнейших агрометеорологических показателей роста растений и формирования урожая. Учет наличия продуктивной влаги в почве необходим для оценки условий водоснабжения сельскохозяйственных культур и обоснования технологии их возделывания, планирования агротехнических мероприятий и др.

Вода в растения поступает преимущественно через корневую систему. Уменьшение влажности почвы обуславливает недостаточное поступление влаги в растения, а при определенных условиях — их завядание. Влажность почвы, при которой появляются необратимые признаки завядания растений, называют *влажностью устойчивого завядания*, или *коэффициентом завядания*. Чем почва богаче гумусом и мелкоземом, тем выше влажность устойчивого завядания. Влажность устойчивого завядания различных типов почв приведена далее.

| Тралуометрический состав почвы | Влажность устойчивого завядания, % |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Песок                          | 0,5...1,5                          |
| Супесь                         | 1,5...4,0                          |
| Суглинок:                      |                                    |
| легкий                         | 3,5...7,0                          |
| средний                        | 5,0...7,0                          |
| тяжелый                        | 8,0...12,0                         |
| Глина                          | 12,0...20,0                        |
| Торф (низинного болота)        | 40,0...50,0                        |

Влажность устойчивого завядания зависит от физических свойств почвы и примерно соответствует всему количеству имеющейся в данной почве связанной воды.

Для сельскохозяйственного производства основное значение имеет только та часть почвенной влаги, которая усваивается растениями в процессе их роста и развития, т. е. превышает влажность устойчивого завядания. Влагу, находящуюся в почве сверх

влажности устойчивого завядания и участвующую в создании органического вещества растений, называют *продуктивной влагой*, а часть почвенной влаги, не усваиваемую растениями и не участвующую в создании органического вещества растений, — *непродуктивной влагой почвы*. Поэтому при оценке запасов влаги в почве как ресурсов создания урожая следует учитывать лишь продуктивную влагу.

Запасы продуктивной влаги в почве выражают толщиной слоя воды, мм, и определяют по формуле

$$W = 0,1dh(V - K), \quad (9.2)$$

где  $d$  — плотность почвы ненарушенного сложения, г/см<sup>3</sup>;  $h$  — толщина слоя почвы, для которой вычисляют запас влаги, см;  $V$  — влажность почвы, %;  $K$  — коэффициент завядания, %.

Количество продуктивной влаги, или ее запасы, принято выражать в миллиметрах толщины водяного слоя, что позволяет сопоставлять ее запасы с расходом воды (испарением) и ее приходом (осадками), которые также измеряют в миллиметрах. Для этого необходимо знать плотность почвы, т. е. массу 1 см<sup>3</sup> абсолютно сухой почвы с ненарушенным строением. Обычно объемная масса почвы меняется в пределах 1,0...1,8 г/см<sup>3</sup>. Чем рыхлее почва, чем больше в ней пор, тем меньше ее объемная масса.

Количество продуктивной влаги вычисляют по разности между общим количеством ее в почве и количеством, соответствующим влажности устойчивого завядания. Таким образом, влажность устойчивого завядания приравнивают к нулю и она является основной агрогидрологической константой. Существуют прямой и косвенный методы определения этой величины.

Прямой, лабораторно-вегетационный метод заключается в том, что влажность почвы учитывают в тот момент, когда выращиваемое растение с хорошо развитой корневой системой устойчиво увядает из-за иссушения почвы, все же остальные факторы произрастания оптимальны.

В случаях, когда влажность устойчивого завядания не может быть определена лабораторным методом, ее рассчитывают по максимальной гигроскопичности путем умножения последней на средний коэффициент, равный 1,34. Для песчаных почв максимальная гигроскопичность (по С. А. Вериге и Л. А. Разумовой) примерно составляет 0,5...1,5 %, для супесчаных 1,5...3,0, для суглинистых 3,0...8,0, для глины 8,0...12,0 % и более.

Необходимые для расчетов запасов продуктивной влаги в почве плотность и влажность устойчивого завядания определяют на тех же полях и на тех же глубинах, что и влажность почвы.

Продуктивную влагу корнеобитаемого слоя толщиной 100 см и более определяют как сумму запасов влаги 10-сантиметровых слоев почвы. Для большинства сельскохозяйственных культур опти-

мальные запасы продуктивной влаги в почве близки к наименьшей влагоемкости.

*Предельной, или наименьшей, влагоемкостью* называют максимальное количество воды, которое может находиться в почве в условиях стекания избытка воды при глубоком залегании грунтовых вод.

Наименьшая влагоемкость в слое 0...100 см для суглинистых почв равна 170...180 мм, для черноземных 180...200, для супесчаных 150...160 и для песчаных 80...120 мм.

В пахотном слое (0...20 см) оптимальные запасы продуктивной влаги для суглинистых почв составляют 35...40 мм, для черноземных 40...45, для супесчаных 30...35 и для песчаных 20...25 мм. Нижний предел оптимального увлажнения почвы для большинства растений соответствует 70 % наименьшей влагоемкости.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Измерение влажности почвы.** 1. Изучают определение влажности почвы термостатно-весовым методом.

2. Рассчитывают влажность почвы слоя 0...100 см на наблюдательном участке под яровой пшеницей.

3. Представляют результаты в форме таблицы 9.2, используя исходные данные.

**9.2. Определение влажности почвы.** Дата 09.05. Начало бурения 9 ч 25 мин, конец бурения 9 ч 40 мин. Время взвешивания от 12 ч 10 мин до 12 ч 20 мин.

Участок № 1. Культура (угодье) яровая пшеница

| Номер скважины (состояние культуры)     | Слой почвы, см | Номер стаканчика | Масса, г                   |                          |            |                   |                              | Влажность почвы, % | Характеристика почвы в пробе |
|-----------------------------------------|----------------|------------------|----------------------------|--------------------------|------------|-------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
|                                         |                |                  | влажной почвы и стаканчика | сухой почвы и стаканчика | стаканчика | испарившейся воды | сухой почвы (без стаканчика) |                    |                              |
| 1-я (кущение. Оценка состояния 4 балла. | 0...5          | 89               | 61,9                       | 54,4                     | 22,2       | 7,5               | 32,2                         | 23,3               | Хорошо увлажненная           |
|                                         | 5...10         | 28               | 59,1                       | 51,9                     | 22,6       |                   |                              |                    |                              |
| Засоренность 1 балл)                    | 10...20        | 33               | 60,8                       | 54,5                     | 22,4       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 20...30        | 150              | 59,0                       | 52,8                     | 22,6       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 30...40        | 144              | 57,1                       | 50,4                     | 22,5       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 40...50        | 231              | 56,1                       | 50,4                     | 22,6       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 50...60        | 121              | 49,9                       | 45,6                     | 22,8       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 60...70        | 14               | 53,3                       | 48,5                     | 23,0       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 70...80        | 56               | 60,4                       | 54,5                     | 22,3       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 80...90        | 153              | 51,6                       | 46,5                     | 22,7       |                   |                              |                    |                              |
|                                         | 90...100       | 9                | 54,3                       | 49,0                     | 22,0       |                   |                              |                    |                              |

**Задание 2. Определение запасов продуктивной влаги в почве.** 1. Изучают методику определения запасов продуктивной влаги.

2. Рассчитывают по результатам измерения влажности почвы (задание 1) количество продуктивной влаги, мм, в метровом слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы.

3. Представляют результаты в форме таблицы 9.3, используя исходные данные.

**9.3. Определение запасов продуктивной влаги, мм, в метровом слое дерново-подзолистой почвы.**

Участок № 1. Культура (угодье) яровая пшеница. Начало вегетации

| Слой почвы, см | Плотность почвы, т/см <sup>3</sup> | Коэффициент завыдания, % | Влажность почвы, % |            | Запасы продуктивной влаги в почве, мм |            |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------|------------|---------------------------------------|------------|
|                |                                    |                          | I вариант          | II вариант | I вариант                             | II вариант |
| 0...10         | 1,31                               | 6,8                      | 23,3               | 15,4       | 21,6                                  | 11,3       |
| 10...20        | 1,35                               | 7,3                      |                    | 15,9       |                                       |            |
| 20...30        | 1,42                               | 10,9                     |                    | 16,5       |                                       |            |
| 30...40        | 1,48                               | 11,6                     |                    | 16,2       |                                       |            |
| 40...50        | 1,51                               | 12,1                     |                    | 16,8       |                                       |            |
| 50...60        | 1,51                               | 17,5                     |                    | 18,9       |                                       |            |
| 60...70        | 1,54                               | 16,6                     |                    | 19,0       |                                       |            |
| 70...80        | 1,60                               | 18,1                     |                    | 19,6       |                                       |            |
| 80...90        | 1,60                               | 17,5                     |                    | 19,7       |                                       |            |
| 90...100       | 1,59                               | 18,0                     |                    | 20,4       |                                       |            |
| 0...20         |                                    |                          |                    |            |                                       |            |
| 0...100        |                                    |                          |                    |            |                                       |            |

**Задание 3. Оценка запасов продуктивной влаги.** Оценивают рассчитанные запасы продуктивной влаги под яровой пшеницей по вариантам и дают соответствующие рекомендации.

### Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена необходимость изучения влажности почвы? 2. Чем характеризуется термостатно-весовой метод оценки влажности почвы, применяемый на наблюдательных участках? Какие еще методы вы знаете? 3. Каковы основные агрогидрологические характеристики влагосодержания почвы, используемые на практике? 4. Что называют продуктивной влагой? 5. Как рассчитывают и оценивают запасы продуктивной влаги в почве?

## Лабораторная работа 10

### ЗАМОРОЗКИ И ИХ ПРОГНОЗ



На обширной территории России заморозки наблюдаются ежегодно, принося значительный ущерб сельскохозяйственному производству. Снижению вредного воздействия заморозков на сельскохозяйственные культуры, применению рациональных приемов защиты от них способствует своевременный прогноз наступления этого неблагоприятного явления.

*Заморозок* определяют как кратковременное понижение температуры воздуха или почвы до 0 °С и ниже на фоне положительных среднесуточных температур воздуха. Заморозки характерны для теплого периода года, и обычно их наблюдают весной и осенью.

По условиям образования различают три типа заморозков:

1 — *адвективные*, вызываемые вторжением на территорию холодных арктических масс воздуха. Сопровождаются нередко сильными ветрами и резким понижением температуры не только в ночные, но и в дневные часы. Охватывают большие районы и могут продолжаться несколько суток подряд. Чаще всего характерны для ранней весны и поздней осени, когда уже прекращается вегетация многих сельскохозяйственных культур, поэтому они менее опасны;

2 — *радиационные*, которые обусловлены интенсивным ночным излучением подстилающей поверхности, обычно наблюдаемым при тихой безоблачной погоде. Вначале понижается температура поверхности почвы (или травостоя) до отрицательной, затем — в прилегающем слое воздуха. При этом наблюдается инверсия температуры. Эти заморозки характерны для периода, когда большинство сельскохозяйственных культур активно вегетируют, поэтому они более опасны;

3 — *адвективно-радиационные (смешанные)* образуются в результате совместного действия двух причин, т. е. адвекции холодного воздуха северного происхождения и последующего ночного выхолаживания за счет интенсивного излучения подстилающей поверхности. К этому типу относятся преимущественно поздние весенние и ранние осенние заморозки, представляющие наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур.

Наиболее продолжительны заморозки первого типа. Прогревание холодной массы воздуха занимает 3...4 сут. Заморозки второго типа часто называют «утренниками», так как они возникают в течение ночи (5...6 ч, иногда до 8...10 ч). Третий тип заморозков длится обычно 3...4 ч, наблюдается с половины ночи или под утро.

*Интенсивность* заморозков различна: при адвективных температура снижается до -8...-10 °С, при смешанных — соответственно до -2...-3 °С. При этом в припочвенных слоях воздуха и на почве температура отрицательная, а на высоте 2 м (метеобудка) может быть положительной.

По интенсивности заморозки делят на слабые — от 0 до -2 °С; средние — от -3 до -5 °С; сильные — от -5 °С и ниже.

В зависимости от местных условий интенсивность заморозков может значительно изменяться (табл. 10.1).

10.1. Изменение вероятности и интенсивности заморозков в зависимости от местоположения (по И. А. Голыберг)

| Местоположение                  | Вероятность заморозков <sup>1</sup> , % | Изменение интенсивности заморозков <sup>2</sup> , °С |
|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Вершины и верхние части склонов | -30                                     | Около +2                                             |
| Долины в холмистой местности    | +20                                     | -1,5...-2                                            |
| Долины в горах                  | +30                                     | -2                                                   |
| Котловины                       | +40                                     | -4...-5                                              |
| Поляны                          | +30                                     | Около -2                                             |
| Острова и побережья             | -35                                     | +2                                                   |
| Города                          | -20                                     | +2...+3                                              |

<sup>1</sup>Знак «+» означает увеличение вероятности заморозков, знак «-» — уменьшение ее на указанный процент.

<sup>2</sup>Знак «+» означает повышение температуры, знак «-» — понижение ее по сравнению с ровным открытым участком.

Радиационные и смешанные заморозки чаще всего возникают и становятся большей силы в пониженных местах — долинах, лощинах, замкнутых котлованах, лесных полянах, где застаивается холодный воздух. Развитию заморозков способствуют сухие и разрыхленные почвы, осушаемые болота. В целом все пониженные формы рельефа отличаются большей заморозкоопасностью. В отличие от них вероятность и интенсивность заморозков на возвышенностях и склонах уменьшается, и они там наступают реже.

# **КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАМОРОЗКАМ**

Устойчивость растения к заморозкам определяют, с одной стороны, характером заморозка (время наступления, интенсивность, продолжительность), а с другой — состоянием самого растения (культура, сорт, фаза развития, агротехника).

Температуру, ниже которой растения повреждаются или гибнут, называют *критической*.

По степени стойкости полевых растений к заморозкам, начиная от периода полных всходов, выделено 5 групп (по В. Н. Степанову).

1. Наиболее устойчивые, выдерживающие понижение температуры до  $-8...-10^{\circ}\text{C}$ .

2. Устойчивые, выдерживающие понижение температуры до  $-6...-8^{\circ}\text{C}$ .

3. Среднеустойчивые, выдерживающие заморозки до  $-3...-4^{\circ}\text{C}$ .

4. Малоустойчивые, выдерживающие заморозки до  $-2...-3^{\circ}\text{C}$ .

5. Неустойчивые, повреждающиеся легкими заморозками при  $-0,5...-1^{\circ}\text{C}$ .

Критические температуры, вызывающие повреждение растений, и их устойчивость к заморозкам приведены в таблице 10.2.

**10.2. Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы развития (по В. Н. Степанову)**

| Культура | Температура, $^{\circ}\text{C}$ , повреждающая растения в фазы |          |            |
|----------|----------------------------------------------------------------|----------|------------|
|          | всходы                                                         | цветение | созревание |

## *Наиболее устойчивые к заморозкам*

|                |            |           |           |
|----------------|------------|-----------|-----------|
| Яровая пшеница | $-9...-10$ | $-1...-2$ | $-2...-4$ |
| Овес           | $-8...-9$  | $-1...-2$ | $-2...-4$ |
| Ячмень         | $-7...-8$  | $-1...-2$ | $-2...-4$ |
| Горох          | $-7...-8$  | $-2...-3$ | $-3...-4$ |
| Чечевица       | $-7...-8$  | $-2...-3$ | $-2...-4$ |
| Чина           | $-7...-8$  | $-2...-3$ | $-2...-4$ |
| Кориандр       | $-8...-10$ | $-2...-3$ | $-3...-4$ |

## *Устойчивые к заморозкам*

|                 |           |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Люпин           | $-6...-8$ | $-3...-4$ | $-3...-4$ |
| Вика яровая     | $-6...-7$ | $-3...-4$ | $-2...-4$ |
| Бобы            | $-5...-6$ | $-2...-3$ | $-3...-4$ |
| Подсолнечник    | $-5...-6$ | $-2...-3$ | $-2...-3$ |
| Горчица белая   | $-6...-4$ | $-2...-3$ | $-3...-4$ |
| Лен             | $-5...-7$ | $-2...-3$ | $-2...-4$ |
| Свекла сахарная | $-6...-7$ | $-2...-3$ | —         |
| Свекла кормовая | $-6...-7$ | —         | —         |
| Морковь         | $-6...-7$ | —         | —         |
| Турнепс         | $-6...-7$ | —         | —         |

Продолжение

| Культура | Температура, $^{\circ}\text{C}$ , повреждающая растения в фазы |          |            |
|----------|----------------------------------------------------------------|----------|------------|
|          | всходы                                                         | цветение | созревание |

## *Среднеустойчивые к заморозкам*

|              |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Капуста      | $-5...-7$ | $-2...-3$ | $-6...-9$ |
| Соя          | $-3...-4$ | $-2...-3$ | $-2...-3$ |
| Могар        | $-3...-4$ | $-1...-2$ | $-2...-3$ |
| Люпин желтый | $-4...-5$ | $-2...-3$ | —         |

## *Малоустойчивые к заморозкам*

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Кукуруза  | $-2...-3$ | $-1...-2$ | $-2...-3$ |
| Просо     | $-2...-3$ | $-1...-2$ | $-2...-3$ |
| Сорго     | $-2...-3$ | $-1...-2$ | $-2...-3$ |
| Картофель | $-2...-3$ | $-1...-2$ | $-1...-2$ |

## *Неустойчивые к заморозкам*

|            |             |             |             |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| Гречиха    | $-1...-2$   | $-1...-2$   | $-1,5...-2$ |
| Фасоль     | $-1...-1,5$ | $-0,5...-1$ | $-2$        |
| Хлопчатник | $-0,5...-1$ | $-0,5...-1$ | $-1$        |
| Бахчевые   | $-0,5...-1$ | $-0,5...-1$ | $-0,5...-1$ |
| Рис        | $-0,5...-1$ | $-0,5...-1$ | —           |
| Арахис     | $-0,5...-1$ | —           | —           |
| Огурцы     | $0...-1$    | $0...-1$    | $0...-1$    |
| Томаты     | $0...-1$    | $0...-1$    | $0...-1$    |

## **ПРЕДСКАЗАНИЕ (ПРОГНОЗ) ЗАМОРОЗКОВ**

Для успешной и своевременной борьбы с заморозками необходимо предсказать время и вероятность их наступления, интенсивность. Адвективные заморозки прогнозируют в учреждениях Гидрометслужбы, поскольку наступление волны холода на обширной территории можно предсказать только на основании анализа синоптических карт. Для небольших участков, отдельных пунктов, где микроклиматические условия сильно влияют на распределение и интенсивность заморозка, такие прогнозы требуют уточнения. Особенно важно детально определять время наступления и силу радиационных заморозков, что в значительной степени зависит от характера рельефа, почвы, растительности и не может быть учтено при анализе синоптической обстановки. Прогнозы радиационных заморозков можно составить на основании данных ближайшей метеорологической станции или по наблюдениям непосредственно на поле.

Разработано несколько методов прогноза заморозков в отдельном пункте, применяемых в разное время, с учетом имеющейся метеорологической информации (методы В. А. Михель-

сона, П. И. Броунова, А. И. Михалевского, А. Ф. Чудновского, М. Е. Берлянда, Г. З. Венцкевича и др.).

**Метод В. А. Михельсона.** Для определения вероятности заморозка нужны данные по абсолютной влажности в 13 и 21 ч. На основании этих наблюдений по графику (рис. 10.1) определяют вероятность, %, заморозка.

**Пример.** Если в 21 ч абсолютная влажность воздуха равнялась 4,0 мм, то вероятность заморозка ночью составит 78 %, при абсолютной влажности 2,6 мм вероятность наступления заморозка составит 100 %, т. е. заморозок будет.

Необходимо учитывать, что расчеты применимы для оценки вероятности заморозка в воздухе. При ясном небе поверхность почвы холоднее воздуха до 3 °С, а при пасмурном — не более 2 °С (по данным Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона).

Значения абсолютной влажности в 13 и в 21 ч, а также соответствующие им вероятности заморозков приведены в таблице 10.3, которую удобно использовать для предсказания заморозков. Вероятность заморозка в 13 ч можно считать предварительной, а в 21 ч — окончательной. Кривая на графике в 13 ч имеет несколько иной вид, чем в 21 ч (см. рис. 10.1), поэтому и различны вероятности. Приведенный метод не дает представления об интенсивности заморозка.

### 10.3. Вероятность заморозка, рассчитанная по абсолютной влажности в 13 и 21 ч

| Время заморозка | Вероятность заморозка, %, при абсолютной влажности, мм |     |    |    |    |    |    |    |   |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|---|----|
|                 | 1                                                      | 2   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 |
| В 13 ч          | 100                                                    | 100 | 97 | 65 | 45 | 31 | 21 | 13 | 7 | 3  |
| В 21 ч          | 100                                                    | 100 | 93 | 78 | 64 | 50 | 35 | 20 | 5 | 0  |

**Метод П. И. Броунова.** Этот метод привлекателен тем, что используемая информация о температуре воздуха доступна практически всем. Получить эти данные возможно даже минуя метеорологическую станцию, т. е. на своем участке, поле.

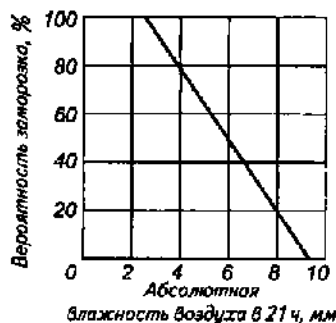


Рис. 10.1. График для прогноза вероятности наступления заморозка методом Михельсона

Вероятность возникновения заморозка определяют по температуре воздуха в 21 ч и разности температур в 13 и 21 ч (рис. 10.2). В поле графика видна серия наклонных линий, которые обозначают вероятность заморозка, %: менее 10 — заморозка не будет; 10...20 — заморозок маловероятен; 20...40 — заморозок маловероятен; 40...60 — заморозок возможен; 60...80 — заморозок весьма возможен; более 80 — заморозок будет.

Вероятность возникновения заморозка определяют по температуре воздуха в 21 ч и разности температур в 13 и 21 ч (рис. 10.2). В поле графика видна серия наклонных линий, которые обозначают вероятность заморозка, %: менее 10 — заморозка не будет; 10...20 — заморозок маловероятен; 20...40 — заморозок маловероятен; 40...60 — заморозок возможен; 60...80 — заморозок весьма возможен; более 80 — заморозок будет.

**Пример.** В 13 ч наблюдалась температура воздуха 16 °С, а в 21 ч 7 °С. Разность температур в 13 и 21 ч равна 16 – 7 = 9 °С. На вертикальной линии находим температуру в 21 ч, равную 7 °С. На горизонтальной линии находим температуру 9 °С, т. е. разность температур, полученную в 13 и 21 ч. Точка пересечения линий названных температур укажет вероятность наступления заморозка (70 %). Таким образом, заморозок весьма возможен.

Этот метод не позволяет судить об интенсивности заморозка. Полезно помнить, что ясная тихая погода вечером, наблюдаемая после 21 ч, способствует наступлению заморозка, а облачная и ветреная — наоборот, снижению его вероятности.

**Метод А. И. Михалевского.** Для прогноза нужны данные, измеренные психрометром на высоте 2 м в 13 ч. Ожидаемую минимальную температуру воздуха, °С, на первом этапе рассчитывают по формуле

$$t_b = t' - (t - t')C, \quad (10.1)$$

а минимальную температуру на поверхности почвы, °С, — по формуле

$$t_n = t' - (t - t')2C, \quad (10.2)$$

где  $t'$  — температура воздуха по смоченному термометру;  $t$  — температура воздуха по сухому термометру;  $C$  — коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха (табл. 10.4).

### 10.4. Коэффициент $C$ в зависимости от относительной влажности воздуха $f$ в 13 ч

| $f, \%$ | $C$ | $f, \%$ | $C$ | $f, \%$ | $C$ |
|---------|-----|---------|-----|---------|-----|
| 100     | 5,0 | 70      | 2,0 | 40      | 0,9 |
| 95      | 4,5 | 65      | 1,8 | 35      | 0,8 |
| 90      | 4,0 | 60      | 1,5 | 30      | 0,7 |
| 85      | 3,5 | 55      | 1,3 | 25      | 0,5 |
| 80      | 3,0 | 50      | 1,2 | 20      | 0,4 |
| 75      | 2,5 | 45      | 1,0 | 15      | 0,3 |

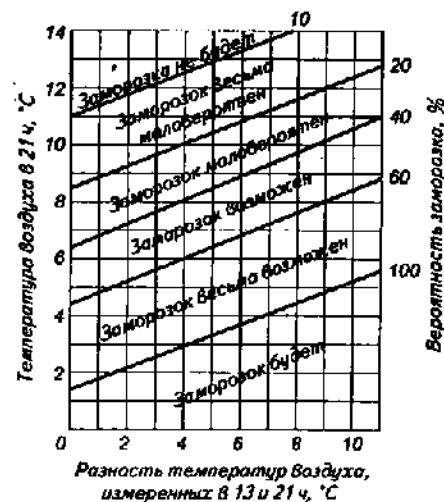


Рис. 10.2. График для прогноза вероятности заморозка методом Броунова

На втором этапе расчетов по наблюдениям за облачностью в 21 ч вычисленные минимальные температуры по формулам (10.1) и (10.2) корректируют следующим образом:

если облачность меньше 4 баллов, то полученный минимум температуры воздуха и почвы уменьшают на 2 °С;

если облачность 4...7 баллов, то в рассчитанный минимум температуры поправки не вводят, т. е. оставляют результат, полученный в 13 ч;

если облачность больше 7 баллов, то ожидаемый минимум температуры увеличивается на 2 °С.

Результаты прогноза заморозков по методу Михалевского оценивают в зависимости от минимальной температуры, полученной после уточнения в 21 ч:

| Минимальная температура, °С | Меньше -2 | -2...2   | Больше 2     |
|-----------------------------|-----------|----------|--------------|
| Вероятность заморозка       | Ожидается | Вероятен | Маловероятен |

Интенсивность заморозка меняется от характера рельефа, где расположены сельскохозяйственные поля. Полученные результаты о заморозке можно распространить на другие территории с учетом изменений их интенсивности в зависимости от местоположения (см. табл. 10.1).

**Пример.** Рассчитать вероятность заморозков в воздухе и на почве по формулам Михалевского, используя следующие данные: температура воздуха по сухому термометру в 13 ч была 10 °С, по смоченному термометру 6 °С, относительная влажность 50 %.

**Решение.** По значению относительной влажности в таблице 10.4 находим, что коэффициент  $C = 1,2$ . Подставляя значения в формулу (10.1), находим

$$t_a = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 1,2 = 1,2 \text{ °С.}$$

При наблюдениях в 21 ч облачность была 2 балла. Поэтому в рассчитанное значение вносят поправку, равную -2 °С. Ожидаемая минимальная температура воздуха соответствует -0,8 °С.

На поверхности почвы минимальную температуру определяют по формуле (10.2)

$$t_{\text{п}} = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 2 \cdot 1,2 = -3,6 \text{ °С.}$$

С внесением поправок на облачность в 21 ч ожидаемый заморозок на почве составит  $-3,6 + (-2) = -5,6 \text{ °С}$ . Следовательно, в воздухе заморозок вероятен, на почве — ожидается.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание. Прогноз заморозков 1.** Изучают прогноз заморозков по методу Михалевского.

2. Определяют относительную влажность воздуха, пользуясь исходными данными таблицы 10.5 о температуре сухого и смоченного термометров, давлении атмосферы.

Для этих целей применяют «Психрометрические таблицы», в которых вверху над колонками дана температура сухого термометра  $t$ , а по температуре смоченного термометра  $t'$  определяют значение относительной влажности воздуха. Поправка на давление в приведенных задачах будет незначительной, ею можно пренебречь.

3. Находят по полученной относительной влажности значение коэффициента  $C$  (см. табл. 10.4).

4. Вычисляют, применяя формулы (10.1) и (10.2), ожидаемую минимальную температуру воздуха и почвы по данным на 13 ч. Температуру округлить до десятых долей градуса.

5. Вносят поправки на облачность по наблюдениям в 21 ч в полученные минимальные температуры.

6. Оценивают вероятность заморозка в воздухе и на поверхности почвы, пользуясь данными на с. 130.

7. Заносят результаты расчетов в таблицу 10.5.

10.5. Расчет вероятности заморозков

| Показатель                                                      | Вариант задачи |     |      |      |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|-----|------|------|
|                                                                 | 1              | 2   | 3    | 4    |
| <i>Исходные данные</i>                                          |                |     |      |      |
| Температура термометра в 13 ч, °С:                              |                |     |      |      |
| сухого                                                          | 9,8            | 8,4 | 14,8 | 9,3  |
| смоченного                                                      | 5,8            | 4,2 | 9,5  | 6,2  |
| Атмосферное давление, гПа                                       | 1000           | 980 | 1010 | 1000 |
| Облачность в 21 ч, баллы                                        | 0              | 9   | 10   | 5    |
| <i>Расчетные данные</i>                                         |                |     |      |      |
| Относительная влажность в 13 ч, %                               |                |     |      |      |
| Коэффициент $C$                                                 |                |     |      |      |
| Минимальная температура воздуха в 13 ч, °С:                     |                |     |      |      |
| воздуха                                                         |                |     |      |      |
| поверхности почвы                                               |                |     |      |      |
| Минимальная температура в 21 ч (с поправкой на облачность), °С: |                |     |      |      |
| воздуха                                                         |                |     |      |      |
| поверхности почвы                                               |                |     |      |      |

*Оценка вероятности заморозка*

В воздухе

На поверхности почвы

8. Определяют изменение интенсивности заморозка от местоположения (табл. 10.6).

10.6. Интенсивность заморозка в зависимости от местоположения

| Местоположение                  | Изменение<br>интенсивности<br>заморозка, °С | Вариант задачи |   |   |   |
|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------|---|---|---|
|                                 |                                             | 1              | 2 | 3 | 4 |
| Вершины и верхние части склонов | +1,2                                        |                |   |   |   |
| Долины в холмистой местности    | -3,0                                        |                |   |   |   |
| Котловины                       | -5,0                                        |                |   |   |   |
| Поляны                          | -2,0                                        |                |   |   |   |
| Города                          | +2,5                                        |                |   |   |   |

9. Предполагают, какие сельскохозяйственные культуры, находящиеся в фазе всходов, могут быть повреждены от ожидаемых заморозков, пользуясь таблицей 10.2.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое заморозок? Для какого периода года характерно это явление? 2. Какие типы заморозков и причины их возникновения вы знаете? 3. Как влияет характер местности, местоположения поля на интенсивность заморозков? 4. Какие метеорологические измерения нужны, чтобы предсказать заморозки по методу Михалеvского? 5. Как последовательно по степени устойчивости к заморозкам расположить сельскохозяйственные культуры? 6. Какие, по вашему мнению, заморозки нужно назвать опасными? 7. Каковы возможные меры борьбы с заморозками?

## Лабораторная работа 11

### АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХ И СУХОВЕЕВ

Для земледельческой зоны большей части России характерны засушливые явления, приносящие значительный вред сельскохозяйственному производству. Засухи и суховеи снижают урожайность, иногда приводят к гибели посевов.

Засуха возникает вследствие отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и пониженной влажностью воздуха, вызывает угнетение или гибель растений (ГОСТ 17713—89).

В более широком понятии засуха связана «с длительным отсутствием осадков (или значительным их сокращением по сравнению со средними многолетними нормами) в сочетании с повышенными температурами воздуха, почвы и ветрами, приводящими к резкому снижению относительной влажности воздуха, истощению запасов почвенной влаги, нарушению водного баланса растений и животных, недобору сельскохозяйственной продукции, а в экстремальных условиях — к гибели всего урожая, сельскохозяйственных животных» (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии).

Различают засуху атмосферную и почвенную. В первом случае речь идет об отсутствии осадков, высоких температурах и пониженной влажности воздуха, т. е. состоянии атмосферы. Во втором случае определяющим является иссушение корнеобитаемого слоя почвы. Почвенная и атмосферная засуха может быть одновременно.

По времени возникновения принято различать засуху весеннюю, летнюю и осеннюю.

Весенняя засуха проходит при сравнительно невысоких температурах воздуха, но с низкой относительной влажностью и сильными, иссушающими почву ветрами. Такое сочетание погодных условий приводит к быстрому иссушению верхнего горизонта почвы, что отрицательно сказывается на состоянии яровых зерновых в начале их развития, на возобновлении вегетации озимых.

Летняя засуха отличается высокой температурой, низкой влажностью воздуха, большой испаряемостью и дефицитом влаги в почве. Усиливается суховейными явлениями. Вред от лет-

ней засухи наибольший, так как резко падает урожайность сельскохозяйственных культур, снижается качество получаемой продукции.

Осенняя засуха наблюдается на фоне низких температур и влажности воздуха. К этому периоду года большая часть зерновых культур убрана, но наступает время сева озимых, семена которых попадают в сухую почву, и к наступлению холодов озимые бывают плохо развитыми.

Для оценки засух применяют количественные показатели (критерии), которые в разное время были разработаны учеными: А. В. Процеровым, А. И. Руденко, Н. В. Бова, М. С. Куликом, Е. С. Улановой и др. Эти критерии можно объединить в три группы: метеорологические, агрометеорологические, агрономические.

**Метеорологическим критерием** засухи служит недостаток осадков или их полное отсутствие продолжительное время (2...3 декады подряд). При сумме осадков за вегетационный период менее 50 % нормы наблюдаются очень сильные засухи; 50...70 % осадков нормы свидетельствуют о сильной засухе; 71...80 % нормы — о средней засухе. При этом отмечается положительная аномалия температуры воздуха от 1...1,5 до 3...4 °C (температура выше нормы).

**Агрометеорологические критерии** засухи — содержание влаги в почве и коэффициенты увлажнения.

Уменьшение запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте почвы (0...20 см) до 20 мм и меньше можно принять за начало засухи, менее 10 — сильная засуха, 0 мм (иссушение пахотного горизонта почвы) — очень сильная засуха. Этот критерий наиболее надежен, так как показывает дефицит влаги непосредственно под сельскохозяйственным растением.

Коэффициенты увлажнения, представляющие собой отношение осадков к испаряемости за определенный промежуток времени, также удобно применять в качестве показателя степени засушливости. Наиболее часто для этих целей используют гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК). Он рассчитывается по формуле

$$ГТК = \frac{r}{0,1\Sigma t > 10^{\circ}C}, \quad (11.1)$$

где  $r$  — сумма осадков за период с температурой выше 10 °C, мм;  $\Sigma t > 10^{\circ}C$  — сумма температур за этот же период, °C.

Доказано, что  $0,1\Sigma t > 10^{\circ}C$  численно равна испаряемости. Условия увлажнения будут достаточными (удовлетворительными), если ГТК > 1,0. Его применяют, только когда среднесуточная температура воздуха > 10 °C, т. е. он непригоден для весны, осени и тем более зимы. Можно рассчитывать ГТК и за отдельные периоды, но продолжительностью не менее одного месяца.

Значение ГТК  $\leq 0,7$  для лесостепной и подтаежной зоны и  $\leq 0,6$  для степной зоны принимают за критерий засухи. Более дифференцированно по ГТК определяют степень засушливости (для юго-восточных районов европейской части России, но можно применять и для других территорий):

| Засуха | Слабая    | Средняя   | Сильная   | Очень сильная |
|--------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| ГТК    | 0,9...0,6 | 0,6...0,5 | 0,5...0,4 | <0,4          |

**Агрономическим критерием** засухи считают снижение урожайности ведущих сельскохозяйственных культур как следствие воздействия засухи. Если урожайность в оцениваемом году снизилась по сравнению со средней за несколько лет до 20 %, то засуха слабая, 20...50 — средняя, более 50 % — сильная.

Более объективно оценить засуху можно, если одновременно используют два-три критерия, например, запасы продуктивной влаги и урожайность, гидротермический коэффициент, запасы влаги и урожайность и т. д.

**Суховой** — ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения воздуха влагой, вызывающий угнетение или гибель растений.

Обоснованию этого неблагоприятного явления, выделению критериев по метеорологическим параметрам посвящены работы ряда исследователей (А. А. Каминский, М. С. Кулик, Е. А. Цубербиллер, Л. Е. Пасечнюк, В. А. Сенников и др.). Наибольшее распространение получил агрономический критерий суховей: температура воздуха в 13 ч выше 25 °C, относительная влажность в тот же срок <30 %, скорость ветра >5 м/с по флюгеру.

Оказалось, что в совокупности три названных параметра соответствуют дефициту влажности воздуха 20 гПа. Поэтому за сухой день принимают такой, в котором дефицит влажности в 13 ч равен 20 гПа и более. При этом чем больше значение дефицита, тем интенсивнее сухой (табл. 11.1).

11.1. Интенсивность суховеев в зависимости от дефицита влажности воздуха в 13 ч и повреждения зерновых культур (по Е. А. Цубербиллер)

| Тип суховей           | Дефицит влажности в 13 ч, гПа | Степень повреждения растений                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Слабый                | 20...29                       | Легкое снижение тургора                                                                                                                                |
| Средней интенсивности | 30...39                       | Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание, у незакаленных растений возможен небольшой захват зерна через 3...5 сут |
| Интенсивный           | 40...49                       | Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2...3 сут, у незакаленных растений — через 1...2 сут                                |
| Очень интенсивный     | $\geq 50$                     | Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1...2 сут                                                                         |

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Оценка засушливости по ГТК Селянинова.** 1. Используют для расчетов таблицу 11.2 по декадным температурам воздуха и суммам осадков за 2002 г.

**11.2. Температура воздуха (°C) и суммы осадков (мм) по декадам. Метеорологическая обсерватория МСХА им. В. А. Михальсона**

| Показатель                                             | Май  |      |      | Июнь |      |      | Июль |      |      | Август |      |      |
|--------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|
|                                                        | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1      | 2    | 3    |
| Температура воздуха по декадам, °C, 2002 г.            | 15,2 | 11,0 | 12,8 | 16,2 | 17,7 | 18,2 | 21,5 | 22,2 | 24,2 | 17,9   | 21,6 | 16,3 |
| Температура воздуха средняя многолетняя по декадам, °C | 10,3 | 12,2 | 14,0 | 15,2 | 16,5 | 17,5 | 18,4 | 18,7 | 18,4 | 17,5   | 16,5 | 15,2 |
| Отклонения (±) температуры 2002 г. от многолетней, °C  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |      |      |
| Суммы осадков по декадам, мм, 2002 г.                  | 2    | 14   | 4    | 2    | 26   | 24   | 10   | 15   | 5    | 16     | 2    | 6    |
| Суммы осадков многолетние по декадам, мм               | 17   | 18   | 20   | 22   | 23   | 25   | 27   | 28   | 28   | 26     | 26   | 25   |
| Отклонения сумм осадков 2002 г. от многолетних, %      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |      |      |

2. Определяют значения ГТК за отдельные месяцы (май, июнь, июль, август), за первую половину вегетации (май — июль), вторую (июль — август) и в целом за весь период (май — август), когда происходит вегетация основных сельскохозяйственных культур.

**П р и м е р.** Исходные данные: средняя по декадам температура в мае 13,8; 14,6; 17,4 °C; сумма осадков по декадам в мае 11; 15; 10 мм.

Вычисляют сумму температур >10 °C за май:

$$\Sigma t > 10^{\circ}\text{C} = 13,8 \cdot 10 + 14,6 \cdot 10 + 17,4 \cdot 11 = 475,4^{\circ}\text{C},$$

где 10, 10, 11 — число дней соответственно в 1, 2, 3-й декадах мая.

Вычисляют сумму осадков за май:

$$r = 11 + 15 + 10 = 36 \text{ мм};$$

ГТК по формуле (11.1):

$$\text{ГТК} = \frac{36}{0,1 \cdot 475,4} = 0,76.$$

Аналогично рассчитывают ГТК за любой из перечисленных месяцев, а также за более длительные периоды. Результаты заносят в таблицу 11.3.

**11.3. Расчет гидротермического коэффициента (ГТК)**

| Показатель | Май | Июнь | Июль | Август | Май — август | Май — июль | Июль — август |
|------------|-----|------|------|--------|--------------|------------|---------------|
|------------|-----|------|------|--------|--------------|------------|---------------|

Сумма осадков, мм

Сумма температур, °C

Гидротермический коэффициент

3. Определяют интенсивность засухи, наблюдавшейся в 2002 г. На основании полученных ГТК (с. 135 и табл. 11.3) выделить наиболее и наименее засушливый месяцы, а также оценить по засушливости первую половину вегетации (май — июль), вторую (июль — август) и весь период (май — август).

4. Рассчитывают отклонения (±) температуры воздуха в 2002 г. от многолетних значений, °C, а также сумму осадков 2002 г., % от многолетних (см. табл. 11.2).

Результаты используют как дополнительную характеристику засушливости 2002 г.

**Задание 2. Оценка суховейных явлений по дефициту влажности воздуха.** 1. Оценивают число дней с суховеями на основании данных о дефиците влажности воздуха в 13 ч (табл. 11.4).

**11.4. Дефицит влажности воздуха, гПа, в околополуденные часы наблюдений, 2002 г. Метеорологическая обсерватория МСХА им. В. А. Михальсона**

| Число месяца | Июнь | Июль | Август | Число месяца | Июнь | Июль | Август |
|--------------|------|------|--------|--------------|------|------|--------|
| 01           | 21,9 | 19,9 | 34,8   | 16           | 7,4  | 18,1 | 25,1   |
| 02           | 25,0 | 21,4 | 30,0   | 17           | 12,0 | 19,2 | 16,0   |
| 03           | 24,4 | 29,7 | 6,5    | 18           | 20,2 | 18,5 | 10,6   |
| 04           | 16,4 | 29,8 | 17,9   | 19           | 25,2 | 17,8 | 16,0   |
| 05           | 12,3 | 29,1 | 17,4   | 20           | 27,0 | 30,7 | 23,7   |
| 06           | 13,0 | 13,5 | 10,3   | 21           | 24,5 | 34,4 | 13,5   |
| 07           | 15,7 | 23,2 | 12,8   | 22           | 15,2 | 34,6 | 10,3   |
| 08           | 8,8  | 29,8 | 11,7   | 23           | 14,4 | 36,9 | 10,4   |
| 09           | 8,5  | 9,2  | 12,3   | 24           | 7,5  | 29,4 | 11,4   |
| 10           | 19,1 | 15,4 | 15,7   | 25           | 8,7  | 22,2 | 10,8   |
| 11           | 26,8 | 14,1 | 20,9   | 26           | 16,4 | 16,0 | 13,3   |
| 12           | 24,6 | 20,5 | 26,9   | 27           | 14,6 | 22,7 | 16,7   |
| 13           | 22,6 | 30,7 | 22,3   | 28           | 22,9 | 28,3 | 17,1   |
| 14           | 15,1 | 30,3 | 22,0   | 29           | 26,4 | 29,6 | 24,5   |
| 15           | 4,0  | 24,8 | 21,9   | 30           | 15,1 | 29,3 | 24,8   |
|              |      |      |        | 31           |      | 29,3 | 19,4   |

2. Подсчитывают число случаев, когда дефицит влажности воздуха был 20 гПа и более, что принимают за день с суховеями. Результаты заносят в таблицу 11.5.

**11.5. Число суховейных дней по дефициту влажности воздуха  $\geq 20$  гПа.  
Метеорологическая обсерватория МСХА им. В. А. Михельсона, 2002 г.**

| Показатель. | Июнь   |   |   |            | Июль   |   |   |            | Август |   |   |            | Июнь — август |
|-------------|--------|---|---|------------|--------|---|---|------------|--------|---|---|------------|---------------|
|             | Декада |   |   | Ме-<br>сяц | Декада |   |   | Ме-<br>сяц | Декада |   |   | Ме-<br>сяц |               |
|             | 1      | 2 | 3 |            | 1      | 2 | 3 |            | 1      | 2 | 3 |            |               |

Число дней с суховеями ( $d \geq 20$  гПа)

Среднее многолетнее число дней с суховеями — — — 4,5 4,5 2,8 11,8

3. Делают заключение по числу дней с суховеями за июнь, июль, август и весь период о частоте этих явлений, сравнивая их со средними многолетними данными.

**Контрольные вопросы**

1. Каково определение засухи? 2. Каковы особенности засух по времени возникновения? 3. По каким критериям можно определить интенсивность засухи? 4. Что такое суховей? Как он связан с засухой? 5. Каковы меры борьбы с засухами и суховеями?

## Лабораторная работа 12

### ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

При оценке климата для сельскохозяйственного производства анализируют метеорологические факторы:

термические и световые условия вегетационного периода и его отдельных подпериодов;

условия увлажнения, включая режим осадков и влажность почвы за те же периоды;

условия перезимовки озимых и многолетних растений; неблагоприятные (опасные) для сельского хозяйства метеорологические явления.

Совокупность агроклиматических факторов, создающих условия для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур, составляет агроклиматические ресурсы данной территории.

Методика сельскохозяйственной оценки климата базируется на двух основных биологических законах: равнозначности (незаменимости) факторов, необходимых для жизни растений, и неравноценности факторов среды обитания растений.

Основные факторы — свет, тепло, влага, воздух — одинаково необходимы растениям; они оказывают непосредственное и прямое влияние на них. Другие (дополнительные) имеют второстепенное, косвенное значение и влияют на действие основных (ветер, облачность, туман и др.), усиливая или ослабляя их. Например, облачность изменяет приход и спектральный состав солнечной радиации у подстилающей поверхности и соответственно уменьшает амплитуду суточного хода температуры воздуха; ветер усиливает расход почвенной влаги на испарение и транспирацию и т. д.

В методике сельскохозяйственной оценки климата учитывается также закон минимума (закон лимитирующего фактора). Согласно этому закону при неизменяющихся других условиях урожайность определяется минимальным фактором. Например, в засушливых зонах количество влаги служит лимитирующим фактором урожайности.

Воздушная среда по газовому составу одинакова во всех климатических зонах; световой режим, за исключением полярных районов, в условиях оптимальной густоты стояния обычно не лимити-

рует рост и развитие растений, и только тепло и влага в основном определяют продолжительность вегетационного периода и продуктивность растений. Поэтому в основу сельскохозяйственной оценки климата в первую очередь положены температурный режим и условия увлажнения в различных климатических зонах земного шара.

Наряду с указанными характеристиками для сельскохозяйственной оценки климата необходимо знать требования, предъявляемые растениями к среде выращивания:

критические и оптимальные температуры воздуха и почвы;

суммы температур, необходимые для завершения периода развития от посева до созревания;

количество влаги, обеспечивающее высокий урожай, и др.

Принципиальная особенность методики сельскохозяйственной оценки климата — применение данных о повторяемости основных факторов климата и опасных для сельского хозяйства метеорологических явлений.

При рассмотрении положений методики видно существенное различие между климатическими условиями территории и требуемыми для ведения хозяйственного производства. Поэтому для сравнения климата различных географических районов для сельскохозяйственного производства, например при продвижении каких-либо культур в новые районы, их аналогично устанавливают не по общим климатическим характеристикам, а по агроклиматическим показателям, которые значительно влияют на данную культуру.

Дата перехода средней суточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  отделяет теплый период года от холодного, когда среднесуточные температуры становятся отрицательными. С датами перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  отождествляются начало и конец вегетации большинства сельскохозяйственных культур. Однако активная вегетация растений происходит в период, ограниченный датами перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  весной и осенью.

Потребность растений в тепле выражают суммой температур за период вегетации данной культуры от начала роста до созревания в пределах границ ее ареала.

Под термическими ресурсами в климатологии понимают то количество тепла, которым располагает территория, где произрастают сельскохозяйственные культуры. Термические ресурсы вегетационного периода чаще всего оценивают суммой активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

Суммы активных температур служат показателем обеспеченности теплом периода активной вегетации сельскохозяйственных растений в умеренном поясе.

*Сумма активных температур* — это показатель, характеризующий количество тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический ми-

нимум температуры, установленной для определенного периода развития растения.

*Биологический минимум* температуры — это минимальное значение температуры, являющееся началом жизнедеятельности сельскохозяйственных растений.

Потребность растений в тепле выражают суммой эффективных температур.

*Сумма эффективных температур* — это показатель, характеризующий количество тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на значение биологического минимума температуры. Для различных растений он неодинаков. Так, для яровой пшеницы он составляет  $5^{\circ}\text{C}$ , для кукурузы 10, для хлопчатника  $13^{\circ}\text{C}$  (у южных сортов хлопчатника  $15^{\circ}\text{C}$ ).

Суммы эффективных температур установлены для многих сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. При этом принято, что они являются постоянными для данного сорта (гибрида) как для отдельных периодов их развития, так и за весь период вегетации. Они характеризуют суммарную потребность в тепле различных сортов и гибридов, отличающихся по скороспелости (табл. 12.1).

12.1. Потребность в тепле основных культур за вегетационный период

| Культура       | Сорт         | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |            | Потребность культуры в тепле $\Sigma t_{\text{акт}} > 10^{\circ}\text{C}$ |
|----------------|--------------|---------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                |              | начала роста                    | созревания |                                                                           |
| Озимая рожь    | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1350                                                                      |
|                | Позднеспелый | 5                               | 10         | 1400                                                                      |
| Озимая пшеница | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1450                                                                      |
|                | Позднеспелый | 5                               | 10         | 1500                                                                      |
| Яровая пшеница | Раннеспелый  | 5                               | 10         | 1400                                                                      |
|                | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1500                                                                      |
| Ячмень         | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1350                                                                      |
|                | Позднеспелый | 5                               | 10         | 1450                                                                      |
| Овес           | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1450                                                                      |
|                | Позднеспелый | 5                               | 10         | 1550                                                                      |
| Горох          | Раннеспелый  | 5                               | 10         | 1250                                                                      |
|                | Среднеспелый | 5                               | 10         | 1400                                                                      |
| Фасоль         | Раннеспелый  | 12                              | 12         | 1500                                                                      |
|                | Позднеспелый | 12                              | 12         | 1900                                                                      |
| Картофель      | Раннеспелый  | 10                              | —          | 1200                                                                      |
|                | Среднеспелый | 10                              | —          | 1500                                                                      |
|                | Позднеспелый | 10                              | —          | 1800                                                                      |
| Кукуруза       | Раннеспелый  | 10                              | 10         | 2200                                                                      |
|                | Позднеспелый | 10                              | 10         | 2900                                                                      |
|                | На силос     | 10                              | —          | 1300                                                                      |

Сумму температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  (или какого-либо предела) за вегетационный период определяют:

с помощью графика хода средних месячных температур воздуха за рассматриваемый период.

Суммы активных температур можно рассчитать по графику годового хода температуры воздуха, построенному по данным Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона (рис. 12.1).

$$\Sigma t_{\text{ак}} > 10^\circ \text{C} = \frac{t_{10} + t}{2} \cdot n, \quad (12.1)$$

где  $\Sigma t_{ak} > 10^\circ\text{C}$  — сумма температур за неполный месяц в начале вегетационного периода,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{10}$  — температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ , на дату перехода через  $10^\circ\text{C}$ ;  $t$  — температура на последний день месяца,  $^\circ\text{C}$ ;  $n$  — период (число дней), за который подсчитывают сумму.

$$\Sigma t_{\text{ок}} > 10^\circ\text{C} = \frac{10,0 + 15,0}{2} \cdot 24 = 300^\circ\text{C}.$$

Итоговую сумму активных температур получают суммированием температур за все периоды от даты перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  весной до даты перехода температуры через этот предел осенью.



Зная среднюю многолетнюю сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  для данного района, по номограмме можно определить дату накопления определенной суммы активных температур. Также можно рассчитать продолжительность периода активной вегетации и средние сроки наступления различных фаз развития сельскохозяйственных культур, в том числе и сроки их созревания в различных географических районах.

**Пример.** Средняя многолетняя сумма активных температур составляет  $3500^{\circ}\text{C}$ . Определить дату накопления сумм температур  $1000^{\circ}\text{C}$ . Для решения этой задачи на оси  $OY$  находят сумму температур  $3500^{\circ}\text{C}$ , затем проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой накопления сумм  $1000^{\circ}\text{C}$  и, опуская перпендикуляр из этой точки на ось  $OX$ , определяют искомую дату — 16 июня.

Наряду с суммами температур для оценки термических условий необходимо учитывать температуру в отдельные периоды вегетации, особенно среднюю температуру самого теплого месяца.

Общую оценку термических условий вегетационного периода дают по суммам активных температур. В отдельные годы суммы активных температур за вегетационный период могут существенно отличаться от средних многолетних.

Чтобы установить, обеспечена ли сельскохозяйственная культура теплом в большинстве лет в данном месте, следует определить повторяемость сумм температур, требуемых растением.

Обеспеченность периода суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  определяют по графику (рис. 12.3) Ф. Ф. Давитая. На графике показаны кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ : I — в климатах неустойчивого типа, II — в климатах устойчивого типа, III — в климатах особо устойчивого типа.

По графику (см. рис. 12.2) можно определить теплообеспеченность какой-либо культуры в данной районе. Для этого надо знать потребность культуры в тепле и климатическую сумму температур для данной территории.

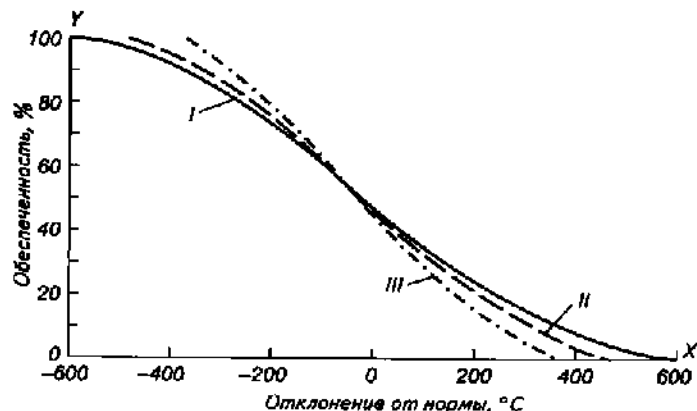


Рис. 12.3. Кривая обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ :

I — в климатах неустойчивого типа; II — в климатах устойчивого типа; III — в климатах особо устойчивого типа

**Пример.** В районе Подмосквы средняя многолетняя сумма температур за период активной вегетации равна  $2000^{\circ}\text{C}$ , а для полного вызревания какой-то конкретной культуры требуется  $1900^{\circ}\text{C}$  (фасоль позднеспелая, см. табл. 12.1). Данная культура созревает столько раз, сколько раз будут повторяться суммы выше  $1900^{\circ}\text{C}$  в этом районе при оптимальном увлажнении. Чтобы ответить на этот вопрос, находят разность  $1900 - 2000 = -100^{\circ}\text{C}$  и от полученного отклонения  $-100^{\circ}\text{C}$  на оси абсцисс (см. рис. 12.3) проводят прямую, параллельную ординате. По точке пересечения этой прямой с кривой и данного типа климата (I) находят обеспеченность в процентах. В данном примере обеспеченность равна 60 %, т. е. фасоль позднеспелая в этом районе будет вызревать 6 лет из 10.

Возделывание культуры считают целесообразным, если она обеспечена теплом не менее чем на 80 %, т. е. в 8 годах из 10.

**Пример.** Потребность в тепле картофеля среднеспелого сорта составляет  $1500^{\circ}\text{C}$ , ресурсы тепла в Подмосквы  $2000^{\circ}\text{C}$  (сумма активных температур). Находят разность между потребностью картофеля в тепле и термическими ресурсами территории:  $1500 - 2000 = -500^{\circ}\text{C}$ . Обеспеченность теплом картофеля раннеспелого составляет  $\approx 99,5\%$ , т. е. он будет вызревать ежегодно. Выращивать такой картофель целесообразно.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Оценка условий теплообеспеченности вегетационного периода по температуре воздуха.** 1. Строят график хода температуры за вегетационный период по многолетним данным, которые берут из агроклиматического справочника.

2. Отображают на этом же графике средние месячные температуры воздуха за вегетационный период рассматриваемого года (прерывистая линия рядом с многолетними).

Данные берут из метеорологических бюллетеней или с ближайшей метеорологической станции.

3. Сравнивают ход температуры воздуха за вегетационный период рассматриваемого года с многолетними нормами и дают ее характеристику: близко к норме; меньше нормы; больше нормы.

**Задание 2. Расчет сумм активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ .**

1. Определяют даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$  по графику хода температуры (задание 1).

2. Находят продолжительность периода с температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  между датами перехода этой температуры весной и осенью.

3. Вычисляют сумму активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  по формуле (12.1).

Средние суточные температуры воздуха за весь период активной вегетации (между датами перехода температуры через 10 °С) суммируют.

4. Рассчитывают сумму активных температур за конкретный год.

5. Сравнивают суммы температур рассматриваемого года с многолетними и делают вывод.

**Задание 3. Определение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, возделываемых в данном географическом районе.**

1. Оценивают ресурсы тепла рассматриваемого района применительно к ряду сортов сельскохозяйственных культур, используя график на рисунке 12.3 и таблицу 12.1, где приведены данные о потребности культур в тепле, и полученные данные заносят в таблицу 12.2.

**12.2. Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур**

| Культура | Скороспелость сорта | Потребность в тепле, $\Sigma t_{\text{н}} > 10^\circ\text{C}$ | Ресурсы тепла, $\Sigma t_{\text{н}} > 10^\circ\text{C}$ | Обеспеченность теплом, % |
|----------|---------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
|          |                     |                                                               |                                                         |                          |

2. Определяют дату полного вызревания культур в данном районе, воспользовавшись графиком Ф. Ф. Давитая (см. рис. 12.2).

#### *Контрольные вопросы*

1. Что понимают под термическими ресурсами территории? 2. Как рассчитывают сумму активных температур воздуха? 3. Как вычисляют сумму эффективных температур воздуха? 4. Как определяют теплообеспеченность сельскохозяйственных культур и для какой цели? 5. Как устанавливают сроки созревания возделываемых культур в данном районе?

## **Лабораторная работа 13**

### **ОЦЕНКА УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА (РЕСУРСОВ ВЛАГИ)**



Наиболее широко используемый показатель обеспеченности растений влагой — количество осадков за вегетационный период, выраженных в миллиметрах слоя воды. Количество атмосферных осадков на территории оценивают средними многолетними суммами за месяц и представляют в виде графика, называемого гистограммой (рис. 13.1), которая состоит из смежных прямоугольников, основаниями которых служат месяцы, а высотами — суммы осадков.

Сложившиеся агрометеорологические условия увлажнения оценивают методом сравнения количества выпавших осадков в текущем вегетационном периоде с многолетними средними показателями осадков, наблюдаемыми в данном районе. Первую величину получают из метеорологических декадных бюллетеней, вторую — из агроклиматического справочника по области. Отклонения выпавших осадков в процентах от многолетней нормы определяют сравнением количества осадков. Если получится более 100 %, значит в текущем году осадков выпало больше нормы, менее 100 % — меньше нормы и т. д.

Среднее многолетнее количество осадков в данном районе дает представление о 50%-й их обеспеченности. Поэтому для правильного суждения об увлажненности необходим расчет осадков различной обеспеченности. Для этого можно воспользоваться графиком А. Н. Лебедева (рис. 13.2).

На графике по оси ординат нанесены средние многолетние суммы осадков за теплый период, по оси абсцисс — возможные суммы осадков в отдельные годы, в поле графика даны линии различной обеспеченности.

**Пример.** Определить количество осадков, выпадающих в восьми годах из 10, при средней многолетней сумме 400 мм.

На оси ординат находят значение 400 мм, из этой точки проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией 80 % и опускают перпендикуляр на ось абсцисс — получают 300 мм и более.

При агроклиматическом обслуживании часто используют данные о сумме осадков нарастающим итогом за теплый (апрель — октябрь) период (табл. 13.1).

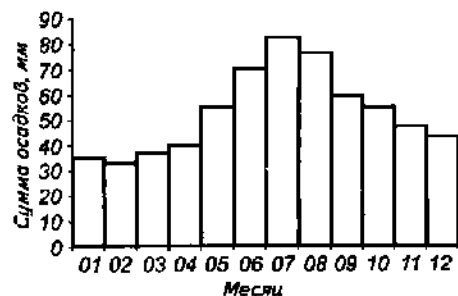


Рис. 13.1. График годового хода осадков на Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона

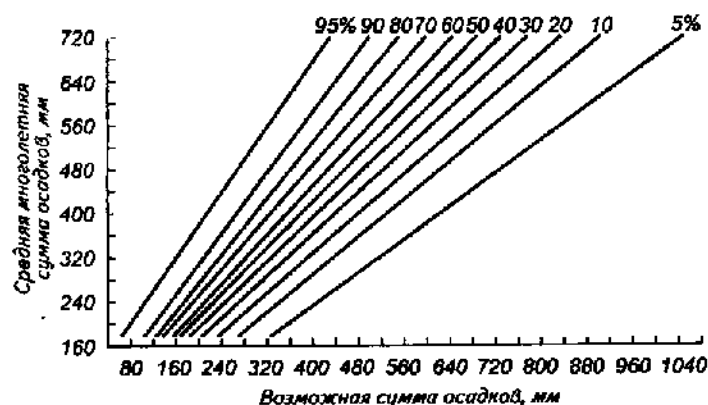


Рис. 13.2. График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности (по А. Н. Лебеву)

### 13.1. Суммы осадков нарастающим итогом с апреля по октябрь. Метеорологическая обсерватория им. В. А. Михельсона

| Показатель                            | 04 | 05 | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  |
|---------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Средние многолетние суммы осадков, мм | 40 | 55 | 70  | 83  | 77  | 60  | 55  |
| Суммы осадков нарастающим итогом, мм  | 40 | 95 | 165 | 248 | 325 | 385 | 440 |

Однако оценка условий увлажнения вегетационного периода по суммам осадков недостаточна для характеристики водных ресурсов территории, так как осадки — это лишь одна из составляющих приходной части водного баланса. Этим, в частности, объясняется тот факт, что при одинаковой сумме осадков в различных

районах увлажнение бывает разное. Например, на севере России (зона тундры) и на юге (степная зона) осадков выпадает около 350 мм в год, но на севере наблюдается избыток влаги, а на юге — недостаток ее, что обусловлено различной испаряемостью в этих зонах. Поэтому в агрометеорологии для оценки условий увлажнения территории используют *коэффициенты увлажнения*, представляющие собой отношение количества осадков к испаряемости. Наиболее широкое применение получил гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК). Применяют [см. формулу (11.1)] его для оценки условий увлажнения в теплый период, когда средняя суточная температура воздуха превышает 10 °С.

По рассчитанному ГТК Селянинова для Нечерноземной зоны можно оценить степень увлажнения по месяцам и за вегетационный период, используя критерии увлажненности вегетационного периода (применительно для Нечерноземной зоны).

| Значение ГТК | Характеристика увлажненности |
|--------------|------------------------------|
| > 2,0        | Переувлажнение               |
| 1,5...2,0    | Достаточное                  |
| 1,3...1,5    | Близкое к среднему           |
| 0,7...1,3    | Недостаточное                |
| < 0,7        | Засушливые условия           |

Условия увлажнения оценивают и по другим показателям.

Д. И. Шашко в качестве показателя увлажнения (КУ) предложил отношение суммы осадков за год  $\Sigma r$  к сумме дефицитов влажности воздуха  $\Sigma d$  за этот период, выраженный в миллиметрах:

$$KV = \Sigma r / \Sigma d. \quad (13.1)$$

Знаменатели в коэффициентах увлажнения численно равны испаряемости, измеряемой в миллиметрах.

Оценка условий увлажнения по значению ГТК и коэффициенту увлажнения Шашко приведена в таблице 13.2.

### 13.2. Оценка условий увлажнения по значениям ГТК Селянинова и коэффициента увлажнения Шашко

| Зона увлажнения   | Средний многолетний |             | Вероятность различно увлажненных лет, % |                  |            |                  |         |                   |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------------------------------------|------------------|------------|------------------|---------|-------------------|
|                   | ГТК                 | КУ          | сухих                                   | очень засушливых | засушливых | слабо засушливых | влажных | избыточно влажных |
| Избыточно влажная | >1,6                | >0,60       | 0                                       | 0                | 5          | 10               | 25      | 60                |
| Влажная           | 1,6...1,3           | 0,60...0,45 | 0                                       | 5                | 10         | 25               | 30      | 30                |
| Слабозасушливая   | 1,3...1,0           | 0,45...0,35 | 0                                       | 15               | 25         | 30               | 20      | 10                |
| Засушливая        | 1,0...0,7           | 0,35...0,25 | 10                                      | 25               | 35         | 20               | 5       | 5                 |
| Очень засушливая  | 0,7...0,4           | 0,25...0,15 | 35                                      | 45               | 15         | 5                | 0       | 0                 |
| Сухая             | <0,4                | 0,15...0,10 | 75                                      | 20               | 5          | 0                | 0       | 0                 |

Исследования агрометеорологов направлены на получение оценок влагообеспеченности сельскохозяйственных культур с использованием более информативных коэффициентов увлажнения. Так, для кукурузы в степной зоне Ю. И. Чирков предложил формулу

$$KY = \frac{0,5r_{10...03} + r_{04...08}}{0,18\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}}, \quad (13.2)$$

где  $r_{10...03}$  и  $r_{04...08}$  — сумма осадков соответственно за октябрь — март и апрель — август, мм;  $\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$  — сумма среднесуточных температур воздуха за апрель — август,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для оценки влагообеспеченности сахарной свеклы, подсолнечника Л. С. Кельчевская и Ю. С. Мельник разработали следующую формулу:

$$KY = \frac{0,36r_1 + r_2}{0,1\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}}, \quad (13.3)$$

где  $r_1$  — сумма осадков вневегетационного периода, мм;  $r_2$  — сумма осадков за период вегетации данной культуры, мм;  $\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$  — сумма среднесуточных температур  $> 10^{\circ}\text{C}$  за период активной вегетации,  $^{\circ}\text{C}$ .

При расчете некоторых показателей влагообеспеченности учитывают и запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см. А. М. Алпатъев предложил коэффициент влагообеспеченности определять по эмпирической формуле

$$KY = \frac{w_1 - w_2 + r}{0,65\Sigma d}, \quad (13.4)$$

где  $w_1$  и  $w_2$  — запасы продуктивной влаги на начало и конец вегетации данной культуры, мм;  $r$  — сумма осадков за период вегетации культуры, мм;  $\Sigma d$  — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации, мм.

Знаменатель формулы (13.4) соответствует значению испаряемости в миллиметрах.

Условия увлажнения яровой пшеницы на юго-востоке Западной Сибири В. А. Сенников предложил оценивать коэффициентом увлажнения

$$KY = \frac{w + r_{05...06}}{0,65\Sigma d}, \quad (13.5)$$

где  $w$  — запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы весной на начало вегетации пшеницы, мм;  $r_{05...06}$  — сумма осадков за май — июнь, мм;  $0,65\Sigma d$  — испаряемость, рассчитанная по сумме дефицитов влажности, мм.

Полнее оценить влагообеспеченность сельскохозяйственных культур можно по запасам продуктивной влаги в почве. Она служит важным комплексным показателем увлажнения сельскохозяйственных полей, так как является результатом взаимодействия погодных, почвенных и агротехнических условий. Этот интегральный показатель включает осадки, сток, влагообмен почвы по вертикали, испарение и поэтому может характеризовать действительные ресурсы влаги, находящиеся в распоряжении растений.

Наиболее распространенный метод определения влажности почвы — термостатно-весовой, основанный на определении количества воды в почве посредством ее высушивания (см. лабораторную работу № 9).

Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высокой продуктивности имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называют *влагообеспеченностью растений*.

Принято считать, что оптимальной для растений является влажность почвы в интервале 70...100 % наименьшей влагоемкости.

Периоды с влажностью, равной или большей наименьшей влагоемкости, считаются избыточно увлажненными. Избыточное увлажнение нарушает газообмен корнеобитаемых слоев почвы и резко ослабляет их аэрацию.

Запасы влаги в почве в летний период для зерновых культур можно оценивать исходя из следующих значений. С. А. Вериге установила, что в период от всходов до кущения зерновых в пахотном слое (0...20 см) оптимальными считаются запасы влаги 25...30 мм, плохими — менее 10 мм. В период развития злаков от выхода в трубку до цветения решающее значение приобретают запасы влаги метрового слоя почвы. Их оценивают по количеству продуктивной влаги в метровом слое почвы следующим образом: хорошие — 120 мм и более, удовлетворительные — 120...80 мм, неудовлетворительные — < 80 мм.

В период от цветения до восковой спелости потребность растений в воде несколько уменьшается. Условия влагообеспеченности в этот период оценивают следующим образом: оптимальные запасы влаги в метровом слое почвы — 80...100 мм, удовлетворительные — 40...80, неудовлетворительные — 30...40, плохие — менее 25 мм и более 125 мм. Раздельная грация в последнем случае объясняется тем, что влагозапасов менее 25 мм резко недостаточно, а влагозапасы более 125 мм вызывают значительное полегание растений и развитие болезней.

Запасы продуктивной влаги существенно влияют на густоту стояния посевов. При запасах продуктивной влаги в декаду посева

30...40 мм число растений ко времени прекращения вегетации на 1 м<sup>2</sup> составляет около 500 (отличное состояние посевов); при запасах влаги 25...30 или 40...45 мм число растений уменьшается до 400 (состояние посевов озимых может быть оценено как хорошее). При дальнейшем уменьшении или увеличении запасов влаги в пахотном слое почвы густота всходов озимых уменьшается. На полях с запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы менее 15 мм высевать озимые культуры до выпадения значительных осадков нецелесообразно, так как при таких запасах озимые ко времени прекращения вегетации оказываются изреженными (менее 200 растений на 1 м<sup>2</sup>).

Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы при посеве озимых зерновых культур показаны на рисунке 13.3.

Более подробно сведения о запасах продуктивной влаги в почве приведены в «Атласе запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на европейской части СССР», составленном сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в почве с потребностью растений в ней позволяет количественно оценить влагообеспеченность растений.

По результатам исследований влияния запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на урожайность озимой пшеницы Е. С. Уланова установила различные запасы влаги в основные периоды весенне-летней вегетации (табл. 13.3).

13.3. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы

| Период вегетации        | Запасы продуктивной влаги, мм |                    |               |        |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|--------|
|                         | хорошие                       | удовлетворительные | недостаточные | плохие |
| Возобновление вегетации | 150...200                     | 120...150          | 100...120     | <100   |
| Выход в трубку          | 140...180                     | 100...140          | 80...100      | <80    |
| Колошение               | 80...140                      | 60...80            | 40...60       | <40    |
| Налив зерна             | 80...100                      | 40...80            | 30...40       | <25    |

В целом анализ сложившихся агрометеорологических условий должен содержать оценку степени благоприятности их в текущем году для различных сельскохозяйственных культур (озимых, ранних и поздних яровых и др.) и рекомендации по применению различных агротехнических мероприятий, направленных на максимальное использование благоприятных и уменьшение влияния неблагоприятных метеорологических факторов.

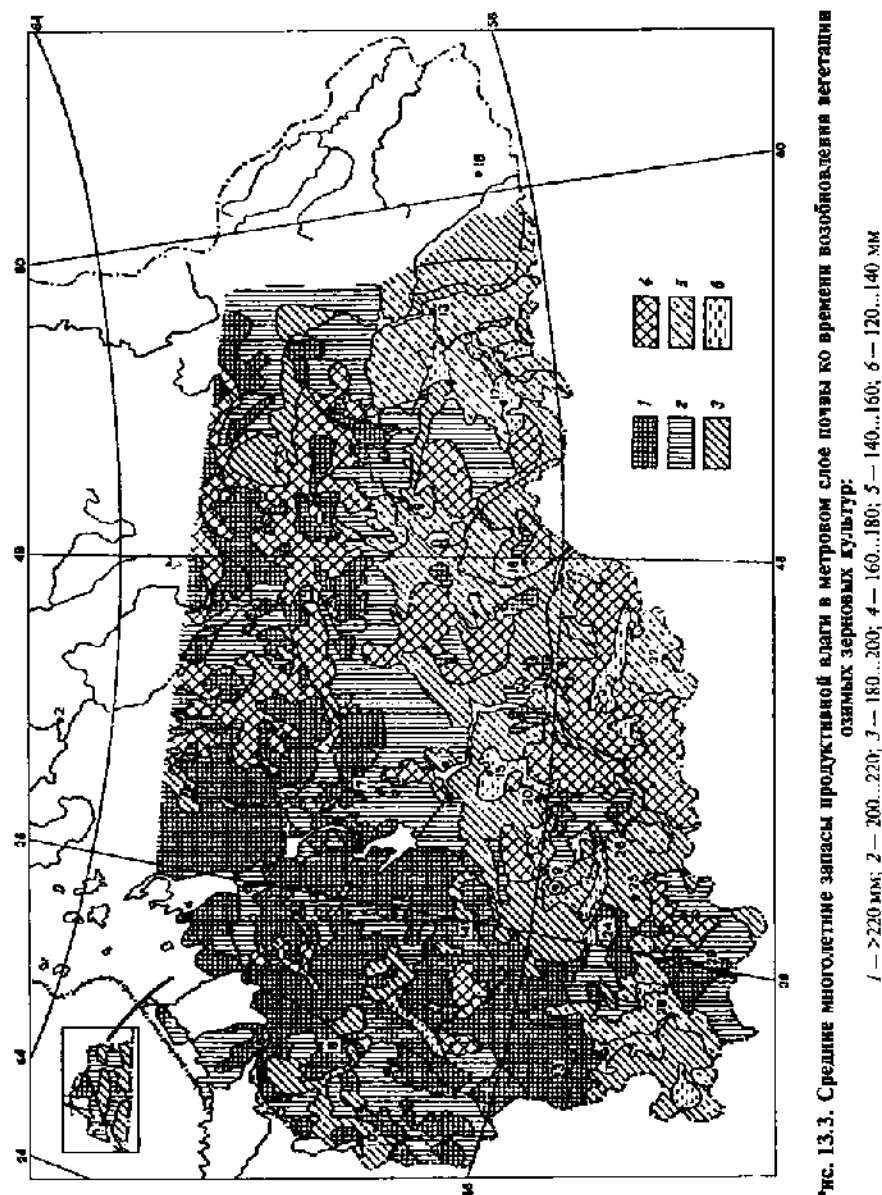


Рис. 13.3. Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени возобновления вегетации озимых зерновых культур: 1 — >220 мм; 2 — 200...220; 3 — 180...200; 4 — 160...180; 5 — 140...160; 6 — 120...140 мм

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Оценка условий увлажнения вегетационного периода по осадкам.** 1. Строят график хода осадков за вегетационный период по многолетним данным.

Многолетние данные о количестве осадков берут из агроклиматического справочника.

2. Изображают на этом же графике месячные суммы осадков за вегетационный период рассматриваемого года (столбцы рядом с многолетними).

Для этого графика данные берут из метеорологических бюллетеней или непосредственно на метеостанции.

3. Сравнивают количество выпавших осадков за вегетационный период рассматриваемого года с многолетними нормами и дают характеристику обеспеченности осадками: близкие к норме; меньше нормы; больше нормы.

Если значения рассматриваемого года близки к норме (или больше), то вегетационный период характеризуется хорошей влагообеспеченностью растений.

**Задание 2. Оценка условий увлажнения по ГТК Селянинова.** 1. Определяют многолетнюю среднюю дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Этот показатель берут из агроклиматического справочника или по графику годового хода температуры.

2. Находят дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$  в рассматриваемом году для данной станции.

Искомую дату определяют из декадных бюллетеней.

3. Вычисляют многолетние и текущие суммы активных температур от даты перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  до 1 июля.

4. Вычисляют суммы осадков за тот же период.

Для подсчета многолетних сумм осадков и температур текущего года используют агроклиматический справочник и декадные бюллетени.

5. Подсчитывают ГТК за указанный ранее период в рассматриваемом году и по средним многолетним значениям. Проводят сравнение полученных значений ГТК.

6. Вычисляют ГТК за периоды май — июль и июль — август; дают оценку их увлажнения.

Для этого используют критерии ГТК, приведенные на с. 149.

7. Записывают в таблице 13.4 исходные данные и результаты вычислений.

8. Дают характеристику увлажненности данных периодов.

13.4. Агроклиматические данные для расчета ГТК Селянинова

| Дата перехода температуры воздуха через $10^{\circ}\text{C}$ | Период        | Сумма осадков, мм | Сумма температур воздуха выше $10^{\circ}\text{C}$ , $^{\circ}\text{C}$ | ГТК |
|--------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                              | Май — июнь    |                   |                                                                         |     |
|                                                              | Май — июль    |                   |                                                                         |     |
|                                                              | Июль — август |                   |                                                                         |     |

**Задание 3. Оценка условий увлажнения вегетационного периода по запасам продуктивной влаги.** 1. Выписывают запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период возобновления вегетации озимых культур из декадных бюллетеней. Многолетние запасы продуктивной влаги по полям берут из агроклиматического справочника или по рисунку 13.3.

2. Дают оценку весенних запасов продуктивной влаги в сравнении с многолетними.

### Контрольные вопросы

1. Что такое влагообеспеченность растений? 2. Как рассчитывают сумму осадков за вегетационный период? 3. Почему количество выпавших осадков не может полно характеризовать увлажнение территории? 4. Что такое ГТК и что он характеризует? 5. Что характеризует коэффициент увлажнения? 6. Как подсчитать коэффициент увлажнения для яровой пшеницы? 7. Какие запасы влаги в пахотном слое для зерновых культур от всходов до кущения считают оптимальными?

# Лабораторная работа 14

## ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР

Успешность возделывания озимых культур определяется не только агрометеорологическими и агроклиматическими условиями вегетационного периода, но и теми условиями, которые складываются в период перезимовки.

Для большинства озимых культур низкие температуры в течение зимы — основные факторы, определяющие границу их возделывания.

Перезимовка озимых культур определяется биологическими особенностями (их зимостойкостью, агрометеорологическими условиями осеннего и зимне-весеннего периодов) и состоянием посевов осенью, отражающим уровень агротехники (качество обработки почвы, сроки сева, влияние предшественников и др.).

Основные причины гибели растений озимых культур в период зимовки следующие (по В. А. Моисейчик):

действие сильных морозов при небольшой высоте или полном отсутствии на полях снежного покрова, вызывающее вымерзание растений;

длительное пребывание растений под большим снежным покровом, образовавшимся на полях в начале зимы при слабом промерзании почвы, что ведет к выпреванию;

застой талых вод на полях и полное затопление посевов в пониженных местах рельефа, вызывающие вымокание растений;

длительное залегание на полях с озимыми притертой к почве ледяной корки, вызывающее механическое повреждение и удушье растений;

неоднократное оттаивание и замерзание почвы в районах с неустойчивой зимой, приводящее к механическому повреждению корней и выпиранию узлов кущения растений;

выдувание и механическое повреждение растений пыльными бурями;

зимняя засуха, вызывающая сильное иссушение растений при длительном отсутствии на полях снежного покрова, отрицательной температуре воздуха и глубоком промерзании почвы.

Основные показатели, определяющие условия перезимовки озимых культур: высота снежного покрова, минимальная температура

воздуха и почвы на глубине узла кущения в различные периоды зимы, глубина промерзания почвы, продолжительность периода с высотой снежного покрова  $\geq 30$  см, сумма осадков за осенний и зимний периоды и др.

Для общей оценки агроклиматических условий перезимовки озимых культур используют средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха. По нему можно судить о повторяемости абсолютных минимальных температур в отдельные годы, т. е. о критических температурах ниже любых пределов. Он находится по абсолютным минимумам путем алгебраической суммы с делением ее на число лет наблюдений. По его значению с помощью кривой (рис. 14.1) рассчитывают повторяемость отклонений минимальной температуры в отдельные годы от нормы в данном районе.

Пр и м е р. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха равен  $-30^{\circ}\text{C}$ . Определить, как часто в данной местности минимальная температура опускается до  $-28$  и  $-32^{\circ}\text{C}$ . Находим отклонение этих температур от нормы. Соответственно они будут составлять 2 и  $-2^{\circ}\text{C}$ . Согласно рисунку 14.1 такие отклонения имеют повторяемость соответственно 75 и 20 %. И если  $-28$  и  $-32^{\circ}\text{C}$  — критические температуры для крон сливы и яблони, то слива будет вымерзать в семи годах из 10, а яблоня — в двух годах из 10 лет.

А. М. Шульгин выделил семь районов с различными типами зим, характеризующими условия перезимовки озимых (табл. 14.1).



Рис. 14.1. Повторяемость отклонений годовых минимумов температуры в зависимости от среднего из абсолютных годовых минимумов

14.1. Климатические условия перезимовки озимых культур по температуре почвы на территории России

| Тип зим           | Условия перезимовки озимых культур | Абсолютный минимум температуры, $^{\circ}\text{C}$ |            |            | Вероятность температуры в отдельные зимы, % |                                                     |                            |                            |
|-------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                   |                                    | средний                                            | наибольший | наименьший | выше $-5^{\circ}\text{C}$                   | $-5...-15^{\circ}\text{C}$<br>(оптимальные условия) | ниже $-16^{\circ}\text{C}$ | ниже $-20^{\circ}\text{C}$ |
| Очень мягкая      | Отличные                           | -4, -8                                             | -1, -3     | -11, -14   | 10...20                                     | 80...90                                             | —                          | —                          |
| Мягкая            | Хорошие                            | -8, -12                                            | -1, -8     | -12, -20   | 5...10                                      | 70...90                                             | 5...20                     | 5                          |
| Умеренно холодная | Удовлетворительные                 | -12, -16                                           | -2, -10    | -20, -22   | —                                           | 50...80                                             | 20...50                    | 5...20                     |

| Тип зим        | Условия перезимовки озимых культур | Абсолютный минимум температуры, °С |            |            | Вероятность температуры в отдельные зимы, % |                                   |             |             |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
|                |                                    | средний                            | наибольший | наименьший | выше -5 °С                                  | -5...-15 °С (оптимальные условия) | ниже -16 °С | ниже -20 °С |
| Холодная       | Ниже удовлетворительных            | -16, -20                           | -10, -15   | -20, -30   | —                                           | 20...50                           | 50...80     | 20...50     |
| Очень холодная | Плохие                             | -20, -24                           | -12, -17   | -25, -30   | —                                           | 10...20                           | 80...90     | 50...70     |
| Суровая        | *                                  | -24, -25                           | -15        | -30        | —                                           | —                                 | 100         | 70...80     |
| Очень суровая  | *                                  | -28, -32                           | -15        | -35        | —                                           | —                                 | 100         | 100         |

Для агроклиматической оценки зимних условий кроме данных о минимальной температуре воздуха используют данные о снежном покрове, особенно о его высоте в период с наиболее низкой температурой воздуха.

Для характеристики зимнего периода А. М. Шульгин дает комплексный показатель, связывающий суровость зимы со средним из абсолютных минимумов температуры воздуха и высотой снежного покрова:

$$K = t_m/h, \quad (14.1)$$

где  $t_m$  — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за самый холодный месяц, °С;  $h$  — средняя высота снежного покрова за этот же период, см.

Степень суровости зимы можно оценить по значению комплексного показателя. Если  $K < 1$ , то зима мягкая (мало суровая), при  $K =$  от 1 до 3 — суровая, при  $K > 3$  — очень суровая.

Г. Г. Белобородова условия перезимовки плодовых культур предложила оценивать по коэффициенту суровости зимы

$$K = \frac{H}{n}, \quad (14.2)$$

где  $H$  — число дней с минимальной температурой воздуха, вызывающей повреждения плодовых культур за период зимовки, °С;  $n$  — продолжительность холодного периода, сут.

Коэффициент суровости зимы характеризует «насыщенность» холодного периода критическими температурами для плодовых культур. Чем больше значения  $K$ , тем хуже условия перезимовки.

Г. Г. Белобородовой установлено, что осенне-зимние и зимние сорта яблони в большинстве случаев хорошо переносят зимы при

$K < 0,07$  — слабоморозостойкие сорта;  $K < 0,05$  — среднеморозостойкие и  $K < 0,03$  — сорта повышенной морозостойкости.

В. А. Моисейчик для оценки агроклиматических условий перезимовки озимых культур в степной зоне предложила комплексный показатель, характеризующий влияние основных факторов:

$$\bar{K} = 0,4844 \frac{\bar{t}_{\min}}{t_{кр}} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{n} - 0,6071, \quad (14.3)$$

где  $\bar{t}_{\min}$  — средняя многолетняя минимальная температура воздуха, °С;  $t_{кр}$  — критическая температура вымерзания различных сортов озимых культур;  $H$  — средняя многолетняя максимальная глубина промерзания почвы, см;  $n$  — средняя многолетняя продолжительность периода со снежным покровом, сут.

Для лесной и лесостепной зон уравнение имеет следующий вид:

$$\bar{K} = 0,4934 \frac{\bar{t}_{\min}}{t_{кр}} + 1,4181 \frac{\bar{H}}{n} - 0,7015. \quad (14.4)$$

Комплексный показатель агроклиматических условий перезимовки озимых культур  $\bar{K}$  — безразмерная величина, косвенно характеризующая площадь по территории, на которой озимые погибают в холодный период года.

Изменения значений  $\bar{K}$  хорошо согласуются с процентом площадей погибших озимых посевов (табл. 14.2).

При  $K > 1$  условия перезимовки резко ухудшаются, в результате чего озимые гибнут на площади до 30 % и более в степной и до 20 % — в лесной и лесостепной зонах.

14.2. Количественная оценка условий перезимовки озимых по показателю  $K$

| Оценка условий перезимовки | Показатель $K$ |             |             |             |             |             |             |             |       |
|----------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
|                            | <0,30          | 0,30...0,45 | 0,46...0,65 | 0,66...0,75 | 0,76...0,90 | 0,91...1,00 | 1,01...1,15 | 1,16...1,20 | >1,20 |

Лесная и лесостепная зоны

| Средняя многолетняя площадь погибших озимых $S_{\text{г}}$ , % | <20 | 16...20 | 8...15 | 6...7 | 0...5 | 6...7 | 8...15 | 16...20 | <20 |
|----------------------------------------------------------------|-----|---------|--------|-------|-------|-------|--------|---------|-----|
| Оценка условий, баллов                                         | 1   | 2       | 3      | 4     | 5     | 4     | 3      | 2       | 1   |

| Оценка условий перезимовки                                     | Показатель К |             |             |             |       |
|----------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|
|                                                                | 0,70         | 0,70...0,85 | 0,86...0,95 | 0,96...1,10 | >1,10 |
| <i>Степная зона</i>                                            |              |             |             |             |       |
| Средняя многолетняя площадь погибших озимых $S_{\text{п}}$ , % | <10          | 11...15     | 16...20     | 21...30     | >30   |
| Оценка условий, баллов                                         | 5            | 4           | 3           | 2           | 1     |

Важный агрометеорологический показатель перезимовки озимых культур — минимальная температура почвы на глубине узла кушения (3 см). Понижение ее до критической температуры вымерзания растений даже в течение одного дня, особенно после оттепели, приводит к значительному изреживанию посевов, а более длительное (до 3 дней и более) и интенсивное понижение — к полной гибели посевов. Такое понижение температуры почвы на глубине узла кушения наблюдаются в периоды сильных морозов при отсутствии или небольшом снежном покрове и глубоком промерзании почвы.

Агрометеорологические условия, при которых озимые посевы вымерзают, создаются в первой половине зимы до образования на полях достаточного снежного покрова. Во второй половине зимы вымерзание озимых культур возможно лишь в отдельные годы в районах с неустойчивым снежным покровом.

Степень повреждения растений от вымерзания зависит от интенсивности и длительности опасных морозов и состояния самих растений.

Решающий фактор при вымерзании озимых культур — степень повреждения морозами узла кушения. При сильном повреждении узла кушения гибнет все растение. Температура, при которой погибает узел кушения растений, различна не только для разных озимых зерновых культур и их сортов, но и для одних и тех же сортов в зависимости от состояния растений осенью (фазы развития, глубины узла кушения, степени кушения, степени закалки, состояния конуса нарастания в момент прекращения вегетации и др.) и изменения их морозостойкости под влиянием агрометеорологических условий в зимний период.

Хорошо развитые и закаленные посевы озимой ржи, находясь в состоянии покоя, могут выдерживать понижение температуры на глубине узла кушения до  $-24^{\circ}\text{C}$  и ниже. Узлы кушения озимой пшеницы менее морозостойки. Растения озимой пшеницы полностью погибают при температуре почвы на глубине узла кушения ниже  $-22^{\circ}\text{C}$ . Растения слабоморозостойких сортов погибают в момент их максимальной морозостойкости при минимальной температуре почвы на глубине узла кушения  $-16...-18^{\circ}\text{C}$ , озимый ячмень при  $-13...-16^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее часто озимые культуры вымерзают на возвышенных участках поля, а также на западных и южных склонах, где высота снежного покрова меньше, а промерзание почвы больше.

Минимальную температуру почвы на глубине узла кушения можно косвенно определить по связи с минимальной температурой воздуха и высотой снежного покрова (рис. 14.2).

При мер. При минимальной температуре воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  и высоте снежного покрова 10 см минимальная температура почвы на глубине узла кушения (3 см) составит  $-12^{\circ}\text{C}$ .

Основные факторы, определяющие температуру почвы,  $^{\circ}\text{C}$ , на глубине 3 см, количественно изучены В. А. Моисейчик и выражены следующими уравнениями:

для Черноземной зоны

$$t_3 = 0,618T - 0,082H + 0,658h - 0,008h^2 + 0,0007P - 0,366, \quad (14.5)$$

где  $t_3$  — минимальная температура почвы на глубине 3 см.

Пределы, при которых уравнение действительно: для минимальной температуры воздуха  $T$  от  $-10$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ ; для высоты снежного покрова  $h = 0...30$  см; для глубины промерзания почвы  $H = 20...150$  см; для числа стеблей осенью на  $1\text{ м}^2$  у озимых  $P = 500...2000$ ;

для центральных и северных районов Нечерноземной зоны с суглинистой почвой

$$t_3 = 0,274T - 0,052H + 0,444h - 0,003h^2 + 0,0004P - 5,960. \quad (14.6)$$

Пределы, при которых уравнение действительно: для  $T$  от  $-10$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ;  $h = 0...40$  см;  $H = 20...150$  см;  $P = 200...2000$ ;

для западных районов Нечерноземной зоны с супесчаными,

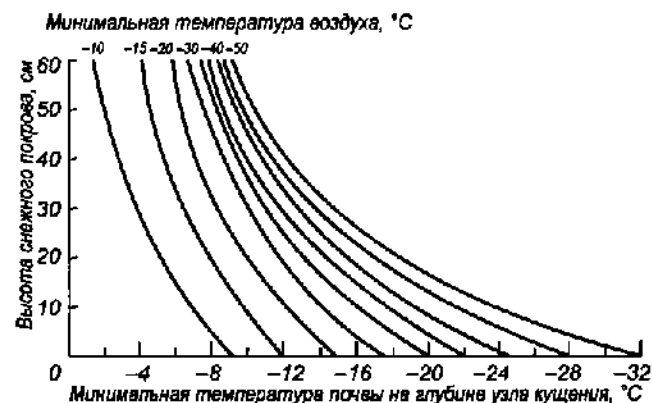


Рис. 14.2. Связь минимальной температуры почвы на глубине узла кушения озимых культур (3 см) с минимальной температурой воздуха и высотой снежного покрова (по А. М. Шульгину)

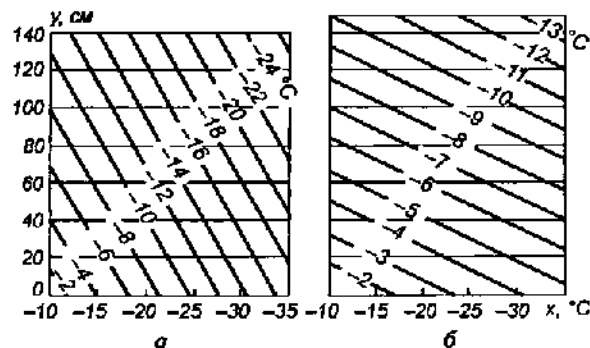


Рис. 14.3. Зависимость минимальной температуры почвы на глубине узла кушения озимых культур (3 см) от минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б)

хорошо увлажненными почвами

$$t_3 = 0,372T - 0,057H + 0,425h - 0,003h^2 + 0,0005P - 2,328. \quad (14.7)$$

Пределы, при которых уравнение действительно: для  $T$  от  $-10$  до  $-30$  °C;  $h = 0 \dots 20$  см;  $H = 20 \dots 100$  см;  $P = 300 \dots 1500$ .

При отсутствии снежного покрова на температуру почвы на глубине узла кушения (3 см) в основном влияет температура воздуха  $T$  и глубина промерзания почвы  $H$ .

Используют следующее уравнение по В. А. Монсейчик: для глубины промерзания почвы менее 30 см

$$t_3 = 0,76T + 2,88; \quad (14.8)$$

для глубины промерзания почвы более 30 см

$$t_3 = 0,81T + 0,26. \quad (14.9)$$

При образовании на полях снежного покрова минимальная температура почвы на глубине узла кушения будет зависеть уже и от его высоты, что отражено уравнениями для различной высоты снежного покрова:

$$\begin{aligned} 5 \text{ см} \quad t_3 &= 0,64T - 0,07H + 5,2; \quad (14.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ см} \quad t_3 &= 0,25T - 0,06H + 0,48; \quad (14.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 15 \text{ см} \quad t_3 &= 0,17T - 0,06H + 1,9; \quad (14.12) \end{aligned}$$

20 см

$$t_3 = 0,12T - 0,05H + 1,56. \quad (14.13)$$

Точность решения уравнений близка к 1 °C.

Минимальную температуру почвы на глубине узла кушения в зависимости от минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы при определенной высоте снежного покрова можно вычислить, используя график на рисунке 14.3.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Расчет минимальной температуры почвы на глубине узла кушения.** 1. Выписывают из декадных метеорологических бюллетеней данные за холодные месяцы (декабрь — февраль) — минимальную температуру воздуха  $T$ , среднюю высоту снежного покрова  $h$  и глубину промерзания почвы  $H$  и заносят в таблицу 14.3.

14.3. Метеорологические показатели для расчета минимальной температуры почвы на глубине узла кушения по декадам месяца

| Показатель | Декабрь |    |     | Январь |    |     | Февраль |    |     |
|------------|---------|----|-----|--------|----|-----|---------|----|-----|
|            | I       | II | III | I      | II | III | I       | II | III |

$T$ , °C  
 $h$ , см  
 $H$ , см  
 $t_3$

2. Рассчитывают минимальную температуру почвы на глубине узла кушения  $t_3$  по формулам (14.10)...(14.13) при соответствующей высоте снежного покрова. Для высоты снежного покрова 5 и 10 см расчет проводят, пользуясь рисунком 14.3.

3. Рассчитывают минимальную температуру почвы на глубине узла кушения  $t_3$  при отсутствии снежного покрова по формулам (14.5)...(14.8) для соответствующей зоны.

4. Определяют минимальную температуру почвы на глубине узла кушения, пользуясь графиком А. М. Шульгина (см. рис. 14.2).

**Задание 2. Определение комплексного показателя перезимовки и площади гибели озимых культур.** 1. Выписывают из агроклиматических справочников значения абсолютного минимума температуры воздуха и высоты снежного покрова для данного района в таблицу 14.4.

2. Рассчитывают комплексный показатель по формуле (14.1) и определяют степень суровости зимы.

3. Рассчитывают комплексный показатель оценки условий перезимовки озимых культур  $K$  для рассматриваемой зоны по формулам (14.3) и (14.4).

4. Анализируют по рассчитанному комплексному показателю  $\bar{K}$  возможную площадь погибших озимых растений, используя таблицу 14.2. Например, при  $\bar{K}=0,76...0,90$  для лесной и лесостепной зон средняя площадь погибших озимых будет составлять 0...5 %, а условия перезимовки будут отличные.

14.4. Оценка суровости зимы по декадам месяца

| Показатель             | Декабрь |    |     |              | Январь |    |     |              | Февраль |    |     |              |
|------------------------|---------|----|-----|--------------|--------|----|-----|--------------|---------|----|-----|--------------|
|                        | I       | II | III | сред-<br>ний | I      | II | III | сред-<br>ний | I       | II | III | сред-<br>ний |
| $T, ^\circ\text{C}$    |         |    |     |              |        |    |     |              |         |    |     |              |
| $h, \text{см}$         |         |    |     |              |        |    |     |              |         |    |     |              |
| $K$                    |         |    |     |              |        |    |     |              |         |    |     |              |
| Степень суровости зимы |         |    |     |              |        |    |     |              |         |    |     |              |

#### Контрольные вопросы

1. Что такое абсолютный минимум температуры воздуха? 2. Что характеризует комплексный показатель? 3. Какие метеорологические условия влияют на развитие озимых культур осенью? 4. Какие метеорологические факторы, влияющие на перезимовку озимых культур, вы знаете? 5. Какие метеорологические факторы приводят к изреженности посевов озимых культур?

## Лабораторная работа 15 ПРОГНОЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ТЕПЛОМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Эффективное решение практических задач, стоящих перед сельским хозяйством, во многом зависит от полноты учета и использования имеющихся природно-климатических условий. При этом особое значение имеет один из основных видов агрометеорологического обслуживания — *долгосрочные агрометеорологические прогнозы*.

Агрометеорологические прогнозы широко применяют планирующие организации при решении важных народнохозяйственных мероприятий. Например, прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур используют для уточнения планов закупок и заготовок сельскохозяйственной продукции и снабжения населения продовольствием, а промышленность — сырьем, для распределения уборочной техники и транспортных средств, планирования затрат и т. д.

Различные виды агрометеорологических прогнозов по решаемым задачам можно объединить в следующие основные группы.

1. Прогнозы агрометеорологических условий, формирующих урожай.

2. Фенологические прогнозы.

3. Прогнозы урожайности основных сельскохозяйственных культур.

4. Прогноз состояния озимых культур в зимний период.

Для сельскохозяйственного производства разработаны и широко применяются количественные методы составления различных видов долгосрочных агрометеорологических прогнозов. Эти методы основаны на учете инерционности главных агрометеорологических факторов, биологических закономерностей роста и развития растений, характеристики их фотосинтетического потенциала и продуктивности, которые определяют не только настоящее, но во многом и будущее положение.

Научной базой методов агрометеорологических прогнозов являются статистические многофакторные зависимости и их уравнения, позволяющие рассчитывать ожидаемые величины заблаговременно. Они получены на основании обработки и анализа сопоставленных наблюдений за метеорологическими условиями и по-

казателями состояния растительного покрова, экспериментально-полевых наблюдений, агроклиматических справочников, атласов и др.

Перспективны методы прогнозов, основанные на разработке динамических моделей. Последние позволяют объединить разрозненные знания по агрометеорологии, биологии, агротехнике в единое целое и учесть динамику развития растений.

## МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Обеспеченность теплом вегетационного периода, характеризующаяся суммами активных температур воздуха, может значительно изменяться по годам. В отдельные годы отклонения от средней многолетней суммы температур на большей части сельскохозяйственных районов РФ могут достигать  $\pm 400...600^\circ\text{C}$ , что резко влияет на сроки развития и продуктивность растений. Так, в годы с большим недобором тепла многие культурные растения могут не дозреть, поэтому в такие годы необходимо высевать более скороспелые культуры (сорта). При большой положительной аномалии тепла целесообразно расширение посевов поздних культур или более теплолюбивых сортов.

Теоретические положения о возможности составления прогноза теплообеспеченности вегетационного периода выдвинуты Ф. Ф. Давитая. Им выявлены асинхронные связи между сроком начала весны и общим количеством тепла летом. За индекс начала весны условно принята дата устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной. Чем раньше наступает этот переход, тем большая сумма температур накопится за вегетационный период, и наоборот, поздняя весна является предвестником общего дефицита тепла в данном году. Эта связь установлена в результате обработки данных многолетних метеорологических наблюдений основных метеостанций.

Коэффициенты корреляции между датами перехода температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной и  $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$  в зависимости от географического района находятся в пределах  $0,60...0,80$ , средняя квадратическая ошибка уравнений — в пределах  $100...200^\circ\text{C}$ . На основании такого прогноза, составляемого после устойчивого перехода температуры через  $10^\circ\text{C}$ , можно определять обеспеченность теплом сельскохозяйственных культур в текущем году, что особенно важно знать до посева теплолюбивых культур в районах, где обеспеченность их вызревания меньше 80 %.

Эти связи сохраняются и в пространстве, и во времени. Высокие коэффициенты корреляции обеспечиваются тем, что в качестве аргумента берется не изменчивая по годам температура календарного периода, а начало естественного сезона, устанавливаемое

по наступлению строго одинаковых температур в каждом году.

Характер зависимости  $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$  от начала весенних процессов неодинаков в различные части вегетационного периода. Если этот период разбить на две неравные части, выделив из него два первых месяца после даты перехода температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной, то зависимость  $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$  за оставшуюся (вторую) часть вегетационного периода от даты перехода температуры через  $10^\circ\text{C}$  весной повышается. Можно, следовательно, составлять прогноз  $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$  не только на весь период, но и на его первую и вторую части. Необходимо подчеркнуть, что речь идет о суммах температур за сравнительно продолжительный период, в отдельные отрезки которого зависимость температуры от характера разворачивания весенних процессов может иметь различные значения.

Ф. Ф. Давитая также выявил и научно обосновал прогноз продолжительности вегетационного периода, где в основу метода была положена зависимость продолжительности периода с температурой воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  и, следовательно, от даты устойчивого перехода температуры через  $10^\circ\text{C}$  весной  $D$ . В общей форме уравнение связи имеет вид

$$n = A - a_1 D. \quad (15.1)$$

При составлении прогноза вначале определяют дату перехода температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной  $D$ . Найдя значение предиктора и соответствующие данному виду прогноза и данной гидрометеостанции числовые коэффициенты  $A$  и  $a_1$  подставляют в уравнение (15.1) и проводят необходимые расчеты.

Пример. На одной из метеостанций европейской территории устойчивый переход температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной произошел 2 мая. Самый ранний переход температуры воздуха через этот предел отмечали здесь в апреле. Поэтому вместо  $D$  в уравнении (15.1) подставляют не 2, а 32 (30 сут апреля плюс 2 сут мая), коэффициенты  $A = 179$ ,  $a_1 = 0,73$  и делают соответствующие расчеты:  $n = 179 - 0,73 \cdot 32$ ;  $n = 156$  сут. Следовательно, продолжительность периода с температурой воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  составит 156 сут. Фактически она равнялась 158 сут.

Таким образом, по датам устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  весной можно рассчитывать ожидаемую сумму температур выше  $10^\circ\text{C}$  за вегетационный период и его части; продолжительность вегетационного периода.

По данным многолетних наблюдений (не менее 50 лет) построены графики зависимости сумм температур выше  $10^\circ\text{C}$  ( $\Sigma t$ ) от даты весеннего перехода средней суточной температуры через  $10^\circ\text{C}$  ( $D$ ) для одной из станций (рис. 15.1).

На основании подобных графиков получены уравнения связи температур выше  $10^\circ\text{C}$  с датой весеннего перехода температуры

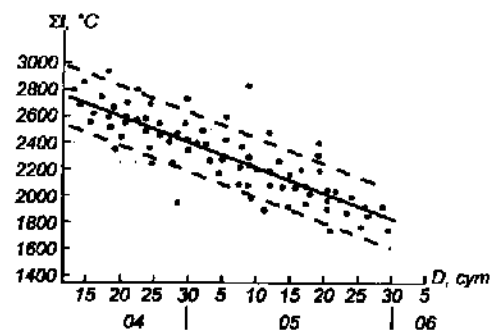


Рис. 15.1. График зависимости суммы температур выше 10 °C за весь период вегетации  $\Sigma t$  от даты перехода температуры воздуха через 10 °C весной  $D$

коэффициентов приведены в таблице 15.1, по ним можно рассчитать ожидаемую  $\Sigma t > 10$  °C.

**Пример.** Переход температуры через 10 °C весной в районе Курска возможен в апреле и мае. В текущем году он отмечен 5 мая. В этом случае значение  $D$  составит не 5, а 35, т.е.  $D = 30 + 5 = 35$ .

По уравнению связи для Курска (см. табл. 15.1) рассчитывают:

$$\Sigma t > 10 \text{ °C} = -14,8 \cdot 35 + 2940 = 2422 \text{ °C}.$$

Следовательно, ожидаемая  $\Sigma t > 10$  °C за вегетационный период данного года составит 2422 °C.

Оправдываемость прогнозов обеспеченности вегетационного периода теплом колеблется в пределах от 60 до 100 %.

Они могут быть использованы для обоснования в текущем году:

- выбора сортов и культур с учетом их теплообеспеченности;
- возможности возделывания поздних культур;
- определения сроков созревания и уборки сельскохозяйственных культур;
- агротехнических мероприятий, зависящих от уровня термического режима (применение определенных удобрений, гербицидов, уточнения сроков сева озимых).

#### 15.1. Уравнения для расчета сумм температур выше 10 °C ( $\Sigma t > 10$ °C) по данным перехода температуры воздуха через 10 °C весной

| Станция         | Месяцы, на которые приходится даты перехода температуры через 10 °C весной | Уравнение связи             |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Санкт-Петербург | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -18,25D + 2759$ |
| Москва          | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -16,21D + 2770$ |
| Курск           | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -14,80D + 2940$ |

через 10 °C:

$$\Sigma t > 10 \text{ °C} = a_1 D - A, \quad (15.2)$$

где  $\Sigma t > 10$  °C — ожидаемая сумма температур;  $a_1$  и  $A$  — числовые коэффициенты, зависящие от места расположения станции;  $D$  — дата весеннего перехода средней суточной температуры через 10 °C, выраженная числом суток с 1 марта или 1 апреля в зависимости от того, на какой месяц приходится самая ранняя дата перехода температуры через 10 °C.

Для некоторых пунктов эти уравнения с числовыми значениями коэффициентов

| Станция   | Месяцы, на которые приходится даты перехода температуры через 10 °C весной | Уравнение связи              |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Воронеж   | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -16,62D + 3037$  |
| Саратов   | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -23,14D + 3530$  |
| Вологда   | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -11,20D + 2280$  |
| Тамбов    | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -20,11D + 3138$  |
| Пенза     | 04...05                                                                    | $\Sigma t = -26,00D + 3290$  |
| Иркутск   | 05...06                                                                    | $\Sigma t = -20,731D + 2172$ |
| Краснодар | 03...04                                                                    | $\Sigma t = -51,650D + 4263$ |

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Прогноз обеспеченности теплом вегетационного периода.** 1. Изучают методику составления прогноза обеспеченности теплом вегетационного периода.

2. Рассчитывают сумму температур выше 10 °C для выбранного пункта по датам устойчивого перехода температуры через 10 °C весной 20 апреля и 10 мая.

3. Представляют результаты в форме таблицы 15.2.

#### 15.2. Форма расчета ожидаемой суммы температур выше 10 °C

| Место наблюдения (станция) | Дата перехода температуры через 10 °C весной | Ожидаемая $\Sigma t > 10$ °C | Многолетняя средняя $\Sigma t > 10$ °C | Отклонения ожидаемой $\Sigma t > 10$ °C от многолетней средней |
|----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                            |                                              |                              |                                        |                                                                |

**Задание 2. Оценка термических ресурсов.** 1. Дают оценку термических ресурсов на основании полученных данных по сравнению с многолетними средними значениями  $\Sigma t > 10$  °C.

2. Обосновывают выбор культур и сортов, возможность применения повторных посевов и других мероприятий в текущем году. Многолетние средние  $\Sigma t > 10$  °C выбирают из агроклиматических справочников.

#### Контрольные вопросы

1. Каково значение долгосрочных агрометеорологических прогнозов для сельскохозяйственного производства? Где их применяют?
2. Какие основные группы агрометеорологических прогнозов вы знаете?
3. Какие методы применяют для составления долгосрочных агрометеорологических прогнозов и на чем они основаны?
4. В чем суть прогноза обеспеченности вегетационного периода теплом?
5. Для каких целей рассчитывают ожидаемые ресурсы тепла текущего года?

## Лабораторная работа 16

### ПРОГНОЗ ЗАПАСОВ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ К НАЧАЛУ ПОЛЕВЫХ РАБОТ



Прогноз запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу полевых работ составляют, используя расчетные методы, на основании данных наблюдений за влажностью почвы осенью и осадками осенне-зимнего периода. Методика составления прогноза, разработанная Л. А. Разумовой, устанавливает зависимость изменения запасов влаги к началу весны в различных климатических зонах от недостатка насыщения почвы влагой осенью и количества осадков.

Для районов юго-востока, где отмечается незначительное или малозначительное изменение запасов влаги зимой, с глубоким залеганием грунтовых вод и устойчивой зимой, эта зависимость выражается уравнением

$$\Delta W = 0,11r + 0,56h - 20. \quad (16.1)$$

В южных районах, в зоне глубокого залегания грунтовых вод, при неустойчивой зиме с обильным увлажнением почвы талыми водами во время частых оттепелей, насыщение почвы влагой в зимний период в зависимости от характера погоды может быть как очень сильным, так и слабым. В этом случае уравнение имеет вид:

$$\Delta W = 0,21r + 0,62h - 33, \quad (16.2)$$

где  $\Delta W$  — изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм, за период от последнего определения запасов влаги осенью (близкого к сроку перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^\circ\text{C}$ ) до перехода температуры через  $5^\circ\text{C}$  весной;  $r$  — количество осадков, выпавших за период от последнего определения влажности почвы осенью до момента составления прогноза, плюс ожидаемые осадки до перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  весной, мм;  $h$  — недостаток насыщения почвы влагой до наименьшей влагоемкости осенью, т. е. разность между наименьшей влагоемкостью и запасом продуктивной влаги, мм, в метровом слое почвы при последнем осеннем определении.

Таким образом, чтобы составить прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу полевых работ, необходимы следующие исходные данные: дата последнего определения влажности почвы осенью, запасы продуктивной влаги на эту дату, наимень-

шая влагоемкость почвы, дата весеннего перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$ , количество осадков за осенне-зимний период.

Прогноз запасов влаги к началу весны составляют в начале марта, заблаговременно, за 1...2 мес в зависимости от зоны. Поэтому помимо данных наблюдений используют долгосрочный прогноз погоды, по которому определяют дату весеннего перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  и количество осадков за период от даты составления прогноза до даты весеннего перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$ . Если в долгосрочном прогнозе недостаточно данных, то используют еще агроклиматический справочник.

Последнее определение влажности проводят в конце осени, когда средняя суточная температура воздуха понижается до  $0^\circ\text{C}$ .

Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу полевых работ имеет большое значение для районов недостаточного и неустойчивого увлажнения, где может быть применен на практике при:

- выборе оптимальных сроков сева яровых культур;
- подборе высеваемых культур и сортов;
- определении сроков и способов предпосевной обработки почвы.

Первый этап работы при составлении прогноза запасов влаги — анализ исходных осенних ее значений. Для районов, где запасы влаги осенью превышали наименьшую влагоемкость или были равны ей, прогноз не составляют, так как осенние запасы влаги к весне не изменятся. Для остальных районов, где почва с осени недостаточно насыщена влагой, расчет ожидаемых ее запасов к началу весны необходим.

В качестве примера, с учетом характера погоды зимних периодов, рассмотрим в таблице 16.1 один из вариантов составления прогноза.

**16.1. Расчет запасов продуктивной влаги по зби, мм, в слое почвы 0...100 см к началу полевых работ для разного типа зим**

| Показатель                                                                                    | Зима       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|
|                                                                                               | устойчивая | неустойчивая |
| <i>Исходные данные</i>                                                                        |            |              |
| Последнее определение влажности почвы осенью, дата                                            | 10.11      | 10.11        |
| Запасы продуктивной влаги осенью, мм                                                          | 50         | 100          |
| Наименьшая влагоемкость, мм                                                                   | 180        | 180          |
| Осадки за период от последнего определения влажности почвы осенью до составления прогноза, мм | 80         | 80           |
| Многолетние средние запасы влаги при переходе температуры через $5^\circ\text{C}$ , мм        | 110        | 150          |

| Показатель                                                                                                                       | Зима       |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|
|                                                                                                                                  | устойчивая | неустойчивая |
| <i>Данные по прогнозу погоды</i>                                                                                                 |            |              |
| Переход средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной, дата                                                             | 16.04      | 18.04        |
| Осадки за период от составления прогноза до перехода температуры через 5 °С весной по прогнозу погоды и климатическим данным, мм | 38         | 38           |
| <i>Вычисленные данные</i>                                                                                                        |            |              |
| Недостаток насыщения почвы влагой осенью, мм                                                                                     | 130        | 80           |
| Осадки за период от последнего определения влажности почвы осенью до перехода температуры через 5 °С весной, мм                  | 118        | 118          |
| Изменение запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, мм                                                                      | 65         | 41           |
| Запасы влаги, ожидаемые весной, мм                                                                                               | 115        | 141          |
| <i>Оценка ожидаемых запасов влаги</i>                                                                                            |            |              |
| От наименьшей влагоемкости, %                                                                                                    | 64         | 80           |
| От средних многолетних запасов, %                                                                                                | 105        | 94           |

Вначале устанавливают недостаток насыщения почвы влагой осенью  $h$  по разности между наименьшей влагоемкостью и фактическим запасом продуктивной влаги в почве на этот период, который составляет:

под зябью с устойчивой зимой  $h = 180 - 50 = 130$  мм;

под зябью с неустойчивой зимой  $h = 180 - 100 = 80$  мм.

Далее определяют количество осадков за период от даты последнего определения влажности почвы осенью до перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной. Переход температуры воздуха через 5 °С в данном примере ожидается по прогнозу погоды 18 апреля. За период от 10 ноября (дата оценки осенних влагозапасов) до 5 марта (дата составления прогноза) сумма осадков  $r = 80$  мм. За период от 5 марта до 18 апреля (дата перехода температуры воздуха через 5 °С весной) сумма осадков ожидается 38 мм. Общая сумма осадков за весь период (от 10 ноября до 18 апреля)  $r = 80 + 38 = 118$  мм.

Подставляя в формулы (16.1) и (16.2) найденные значения из приведенного примера, находят ожидаемые изменения запасов влаги  $\Delta W$  в почве за осенне-зимне-весенний период:

для зяби и устойчивой зимы  $\Delta W = 0,11 \cdot 118 + 0,56 \cdot 130 - 20 = 65$  мм;

для зяби и неустойчивой зимы  $\Delta W = 0,21 \cdot 118 + 0,62 \cdot 80 - 33 = 41$  мм.

Прибавив к последнему (осеннему) показанию запасов влаги в метровом слое почвы  $W_{ос}$  ожидаемое изменение  $\Delta W$ , получим запасы продуктивной влаги к началу полевых работ (на 16 и 18 апреля):

$$W_{вес} = W_{ос} + \Delta W, \quad (16.3)$$

под зябью с устойчивой зимой  $W_{вес} = 50 + 65 = 115$  мм;

под зябью с неустойчивой зимой  $W_{вес} = 100 + 41 = 141$  мм.

Рассчитанные ожидаемые запасы влаги, мм, можно оценить, выразив их в процентах от наименьшей влагоемкости или в процентах от средних многолетних запасов влаги к началу весны, наблюдаемых на полях данной станции.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Прогноз запасов продуктивной влаги к началу полевых работ.** 1. Изучают методику составления прогноза запасов продуктивной влаги к началу полевых работ.

2. Определяют изменение запасов влаги в почве за осенне-зимне-весенний период для районов с устойчивой и неустойчивой зимой.

3. Рассчитывают ожидаемые запасы влаги, мм, весной на полях.

4. Заносят вычисленные данные в таблицу 16.2.

16.2. Исходные данные для расчета запасов продуктивной влаги, мм, в слое почвы 0...100 см к началу полевых работ

| Показатель                                                                                                                       | Вариант |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                                  | 1       | 2     | 3     | 4     |
| <i>Исходные данные</i>                                                                                                           |         |       |       |       |
| Последние определения влажности почвы осенью, дата                                                                               | 29.10   | 03.11 | 20.11 | 25.11 |
| Запасы продуктивной влаги осенью, мм                                                                                             | 105     | 65    | 135   | 40    |
| Наименьшая влагоемкость, мм                                                                                                      | 190     | 180   | 180   | 160   |
| Осадки за период от последнего определения влажности почвы осенью до составления прогноза, мм                                    | 90      | 75    | 170   | 100   |
| Многолетние средние запасы влаги при переходе температуры через 5 °С, мм                                                         | 130     | 150   | 160   | 140   |
| <i>Данные по прогнозу погоды</i>                                                                                                 |         |       |       |       |
| Переход средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной, дата                                                             | 05.04   | 25.04 | 30.03 | 20.04 |
| Осадки за период от составления прогноза до перехода температуры через 5 °С весной по прогнозу погоды и климатическим данным, мм | 40      | 45    | 15    | 10    |

| Показатель | Вариант |   |   |   |
|------------|---------|---|---|---|
|            | 1       | 2 | 3 | 4 |

**Вычисленные данные**

Недостаток насыщения почвы влагой осенью, мм

Осадки за период от последнего определения влажности почвы осенью до перехода температуры через 5 °С весной, мм

Изменение запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, мм

Запасы влаги, ожидаемые весной, мм

**Оценка ожидаемых запасов влаги**

От наименьшей влагоемкости, %

От средних многолетних запасов, %

**Задание 2. Оценка ожидаемых весенних влагозапасов.** 1. Оценивают на основании полученных данных ожидаемые весенние влагозапасы для выращивания сельскохозяйственных культур (яровых зерновых, пропашных) в процентах наименьшей влагоемкости и средних многолетних ее значений.

2. Обосновывают выбор культур (сортов), сроки сева и приемы агротехники, а также возможность проведения других мероприятий в текущем году.

**Контрольные вопросы**

1. Какие существуют методы регулирования запасов почвенной влаги? 2. Чем обусловлена необходимость определения ожидаемых запасов влаги в почве к началу полевых работ? 3. Какие исходные показатели необходимы для прогноза запасов продуктивной влаги на весну? 4. Что такое недостаток насыщения и как его определяют? 5. Почему при составлении прогноза запасов влаги в почве на весну учитывают характер погоды зимнего периода?

## Лабораторная работа 17

### ПРОГНОЗ ФАЗ РАЗВИТИЯ ПОЛЕВЫХ И ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

**ПРОГНОЗ ФАЗ РАЗВИТИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Темпы развития растений теснейшим образом связаны с погодными условиями конкретного года. Давно было замечено: чем выше (до известного предела) температура воздуха в какой-то период, тем быстрее происходит образование новых органов или наступление новых фаз развития растений. Фазами развития сельскохозяйственных культур называют внешние морфологические изменения (всходы, кущение, колошение, молочная и восковая спелость и др.), связанные с процессом их развития (рис. 17.1 и 17.2). Фиксируя даты их наступления, мы тем самым можем судить о ходе развития растений в зависимости от особенностей погоды данного года.

Методика составления фенологического прогноза основана на зависимости темпов развития растений от теплового фактора. Основоположником фенологических прогнозов в агрометеорологии был А. А. Шигелев. Предложенный им метод расчета ожидаемых дат наступления фаз развития ряда сельскохозяйственных культур до сих пор используют в агрометеорологии.

Растения развиваются только при определенном уровне тепла. Для каждого вида растений существует свой нижний предел температуры, при котором начинается их развитие. Так, для многих культурных растений (зерновых, плодово-ягодных) нижним пределом их развития (биологическим нулем) считают 5 °С. Для других, более теплолюбивых сельскохозяйственных культур биологический минимум температуры выше (у кукурузы 10 °С, хлопчатника 13 °С).

Для того чтобы растение нормально развивалось и могло перейти из одной фазы в следующую, требуется определенная сумма тепла, которая должна накопиться за данный межфазный период. По мере накопления этой суммы наступает новая фаза развития растений.

Эту постоянную величину называют суммой эффективных температур ( $\Sigma t_{эф}$ ), которую подсчитывают за весь межфазный период из средних суточных температур воздуха, уменьшенных на значение нижнего предела температуры развития данной сельскохозяй-

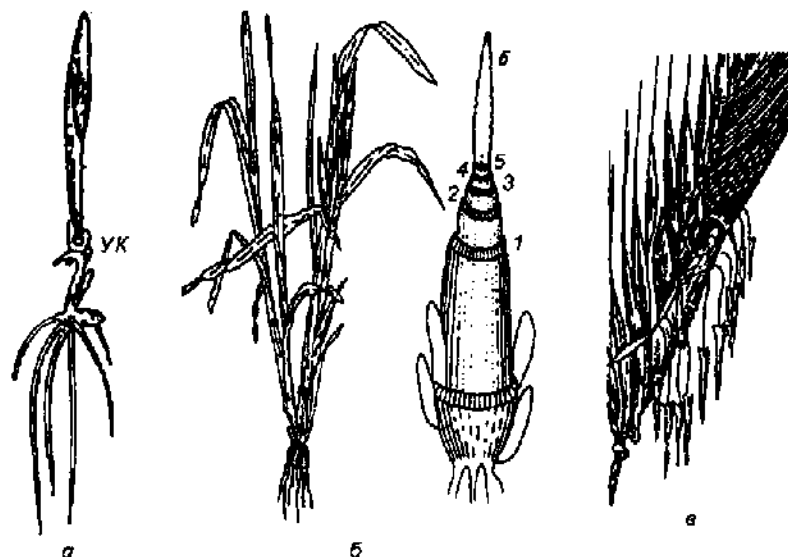


Рис. 17.1. Фазы развития озимой ржи:

а — кушение (три нижних листа срезаны, УК — узел кушения); б — выход в трубку: 1...5 — узлы соломины; б — зачаточный колос; в — цветение

ственной культуры:

$$\Sigma t_{эф} = (t_{cp} - B)n, \quad (17.1)$$

где  $\Sigma t_{эф}$  — сумма эффективных температур, °C;  $t_{cp}$  — средняя суточная температура, °C;  $B$  — начальная температура развития, т. е. биологический нуль, °C;  $n$  — число дней.

Рассчитанные А. А. Щиголевым показатели сумм эффективных температур, необходимых для наступления фаз развития зерновых культур, приведены в таблице 17.1.

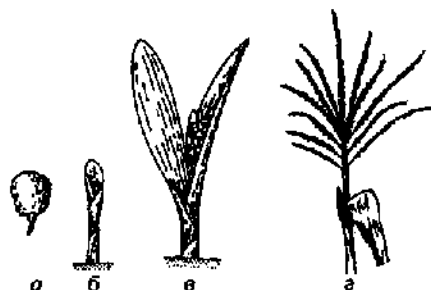


Рис. 17.2. Фазы развития кукурузы:

а — прорастание семени; б — всходы; в — 3-й лист; г — выметывание метелки

В различные годы продолжительность любого межфазного периода для какой-то сельскохозяйственной культуры может быть разная, но сумма эффективных температур для данного периода всегда остается постоянной. Для растений, у которых нижний предел развития 5 °C, исполь-

зуют следующую формулу составления фенологического прогноза:

$$D = D_1 + \frac{A}{t_{cp} - B}, \quad (17.2)$$

где  $D$  — прогнозируемая дата наступления фазы развития;  $D_1$  — начальная дата, от которой ведут расчет;  $A$  — постоянное значение суммы эффективных температур ( $\Sigma t_{эф}$ ) за определенный межфазный период;  $t_{cp}$  — ожидаемая средняя суточная температура воздуха на ближайший период;  $B$  — нижний предел температуры (биологический нуль) развития растений.

#### 17.1. Суммы эффективных температур выше 5 °C, необходимые для наступления фаз развития зерновых культур (по А. А. Щиголеву)

| Межфазный период                                 | Сумма эффективных температур, °C, необходимая для наступления фаз развития |            |                                                 |                |      |       |         |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|----------------|------|-------|---------|
|                                                  | озимой пшеницы                                                             | озимой ржи | яровой пшеницы                                  | ярового ячменя | овса | проса | гречихи |
| Посев — всходы                                   | 67                                                                         | 52         | 67                                              | 67             | 67   | 150   | 75      |
| Всходы — кушение                                 | 67                                                                         | 67         | 67                                              | 67             | 67   | —     | —       |
| Всходы — выметывание                             |                                                                            |            |                                                 |                |      | 600   |         |
| Всходы — начало цветения                         |                                                                            |            |                                                 |                |      |       | 275     |
| Возобновление вегетации — выход в трубку:        |                                                                            |            |                                                 |                |      |       |         |
| в юго-восточных районах                          | 100...150                                                                  | 100...150  | —                                               | —              | —    | —     | —       |
| в западных районах                               | 50                                                                         | 50         | —                                               | —              | —    | —     | —       |
| Выход в трубку (выметывание) — колошение         | 330                                                                        | 183        | 283...305 (р)<br>330...355 (с)<br>375...400 (п) | 330            | 378  | —     | —       |
| Колошение — молочная спелость                    | 230                                                                        | 319        | 230                                             | —              | —    | —     | —       |
| Молочная спелость — восковая спелость            | 260                                                                        | 225        | 260 (м)<br>310 (т)                              | —              | —    | —     | —       |
| Колошение (цветение гречихи) — восковая спелость | 490                                                                        | 544        | 490 (м)                                         | 388            | 428  | —     | 470     |
| Выметывание метелки — полная спелость            | —                                                                          | —          | —                                               | —              | —    | 440   | —       |

Примечание: (р), (с), (п), (м), (т) — яровая пшеница, соответственно раннеспелая, среднеспелая, позднеспелая, мягкая, твердая.

За начальную дату  $D_1$  составления прогноза обычно берут день массового наступления предыдущей фазы. Например, прогноз фазы восковой спелости у зерновых культур составляют заблаговременно, примерно за месяц, т. е. в фазу колошения.

Среднюю суточную температуру воздуха  $t_{cp}$  для искомого межфазного периода определяют по долгосрочному прогнозу погоды. Если по прогнозу погоды сведения о предполагаемом температурном режиме ненадежны, то используют средние многолетние данные по температуре воздуха из агроклиматического справочника. Зная, какая средняя температура воздуха будет по прогнозу на ближайший месяц, можно подсчитать, сколько дней  $n$  необходимо для накопления суммы эффективных температур, которая требуется растению для данного межфазного периода.

Рядом авторов предложены несколько уточненные подходы к составлению фенологических прогнозов для отдельных культур. В частности, для определения даты наступления фазы выметывания метелки кукурузы Ю. И. Чирковым разработан метод, основанный на учете эффективной средней температуры воздуха прогнозируемого периода и числа листьев кукурузы, образуемых на главном стебле, как показателя сортового признака, связанного со скоростью созревания сорта.

Между этими показателями существует устойчивая связь. Средняя сумма эффективных температур, приходящаяся на один междолистный период, составляет  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ . Связь продолжительности всего периода листообразования (3-й лист — выметывание) выражают уравнением

$$n = \frac{30(N+1)}{c(t-10)}, \quad (17.3)$$

где  $n$  — продолжительность периода, сут;  $N$  — число междолистных периодов до появления последнего листа;  $c$  — поправочный коэффициент;  $t$  — средняя температура периода,  $^\circ\text{C}$ .

Определив число заложённых листьев и зная среднюю сумму эффективных температур одного междолистного периода, можно от даты появления очередного листа вычислить сумму температур, необходимую для выметывания метелки, и рассчитать дату наступления этой фазы.

Таким образом, задача составления фенологического прогноза заключается в нахождении продолжительности межфазного периода  $n$  по прогнозируемой для данного периода средней суточной температуре воздуха  $t_{cp}$ , постоянной сумме эффективных температур  $A$  и биологическому нулю  $B$  развития сельскохозяйственной культуры.

**П р и м е р.** Сумма эффективных температур  $A$  межфазного периода яровой пшеницы «выход в трубку — колошение» составляет  $330^\circ\text{C}$ , прогнозируемая средняя суточная температура воздуха  $t_{cp}$  данного межфазного периода  $20^\circ\text{C}$ , нижний предел развития растений  $B = 5^\circ\text{C}$ . Определить дату наступления фазы колошения яровой пшеницы.

По формуле (17.2) находят продолжительность межфазного периода:

$$n = A/(t_{cp} - B) = 330/(20 - 5) = 22 \text{ дня.}$$

Для вычисления даты наступления прогнозируемой фазы  $D$  развития сельскохозяйственной культуры в данном году к исходной дате  $D_1$  составления прогноза 08.06 прибавляют число дней  $n$ , требующихся для прохождения межфазного периода:

$$D = D_1 + n = 08.06 + 22 = 30.06.$$

Следовательно, ожидаемая дата наступления фазы колошения яровой пшеницы 1 июля (на следующий день).

Из фенологических прогнозов наибольшее распространение получили прогнозы сроков цветения плодовых культур, сроков созревания сельскохозяйственных культур и др.

## ПРОГНОЗ СРОКОВ ЦВЕТЕНИЯ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

В процессе роста и развития плодовых культур отмечают следующие фазы: набухание почек, распускание почек, разворачивание первых листьев из ростовых почек, обособление бутонов, цветение, формирование (рост) плодов, созревание плодов, осеннее расцветивание листьев, листопад. Кроме того, отмечают окончание роста побегов в длину, вторичный рост побегов, вызревание древесины.

Наиболее важный в развитии плодовых деревьев — период их цветения. Сведения об ожидаемых сроках цветения дают возможность своевременно провести агротехнические мероприятия по уходу за садами весной и подготовиться к защите плодовых насаждений от заморозков.

Прогноз сроков начала и конца цветения плодовых культур в средней полосе европейской части страны составляют по методу А. А. Щиголева, основанному на зависимости темпов развития растений от термических условий. Благодаря теоретическим разработкам и анализу материала многолетних фенологических наблюдений А. А. Щиголевым вычислены суммы эффективных температур, необходимые в период от возобновления вегетации до начала цветения и от начала до окончания цветения. Видовые и сортовые особенности каждой плодовой культуры обуславливают различные требования растений к теплу. Для многих сортов яблони сумма эффективных температур  $A$  от начала вегетации до цветения составляет  $185 \pm 10^\circ\text{C}$ , груши —  $125 \pm 10$ , сливы —  $125 \pm 10$ , абрикоса —  $90^\circ\text{C}$ .

Дату начала цветения плодовых деревьев, к которой накопится

соответствующая сумма эффективных температур, вычисляют по формуле (17.2).

В этой формуле

$$\frac{A}{t_{\text{ср}} - B} = n, \quad (17.4)$$

где  $n$  — число дней, которое требуется от возобновления вегетации до начала цветения.

Следовательно, для составления прогноза необходимы следующие основные исходные данные: дата возобновления вегетации плодовых культур, которая совпадает с датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$ , сумма эффективных температур за межфазный период (начало вегетации — начало цветения), среднесуточная температура за прогнозируемый период  $t_{\text{ср}}$ , определяемая по долгосрочному прогнозу погоды или по многолетним данным.

Прогнозируемая дата наступления фазы

$$D = D_1 + n, \quad (17.5)$$

где  $D_1$  — начальная дата составления прогноза;  $n$  — число дней.

Этот способ расчета применяют, если до даты составления прогноза не отмечалась эффективная температура выше  $5^\circ\text{C}$ . Но обычно прогноз составляют несколько позже устойчивого перехода средней суточной температуры через  $5^\circ\text{C}$ , когда некоторая сумма эффективных температур уже накопилась; тогда расчеты проводят по формуле

$$D = D_2 + \frac{A - \Sigma t_{\text{эф}}}{t_{\text{ср}} - B}, \quad (17.6)$$

где  $D_2$  — дата составления прогноза после возобновления вегетации;  $\Sigma t_{\text{эф}}$  — сумма эффективных температур, накопившаяся от даты возобновления вегетации до даты составления прогноза,  $^\circ\text{C}$ .

При составлении фенологических прогнозов необходимо учитывать рельеф местности, который может изменить температурные условия, что отразится на сроках начала цветения плодовых культур. Сады, расположенные на южном склоне, зацветут на 1...2 дня раньше, чем на равнине, а на северном — на 2...3 дня позже. Датой начала и конца цветения надо считать следующий день после накопления требуемой суммы эффективных температур.

Рассмотрим методику определения ожидаемой даты цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная на примере станции Дмитров Курской области, используя данные таблицы 17.3.

Прогнозируемую дату наступления фазы цветения яблони находят, суммируя число дней за вторую декаду мая и число дней, за

которые накопится недостающая до нормы  $N$  сумма эффективных температур в III декаде мая.

1. Вычисляют недостающую сумму эффективных температур до нормы ( $185^\circ\text{C}$ ), которая должна накопиться к началу цветения со времени составления прогноза (с 11 мая):  $185 - 90 = 95^\circ\text{C}$ .

2. Рассчитывают сумму эффективных температур, которая накопится за II декаду мая, по средней многолетней декадной температуре, составляющей  $13,8^\circ\text{C}$ .

С учетом поправки на прогноз погоды средняя декадная температура во II декаде мая будет  $13,8 - 2 = 11,8^\circ\text{C}$ .

Рассчитывают сумму эффективных температур за II декаду мая:  $11,8 - 5 = 6,8^\circ\text{C}$  — средняя суточная эффективная температура, которая накапливается за каждый день;

$6,8 \cdot 10 = 68^\circ\text{C}$  — сумма эффективных температур за II декаду мая (за 10 дней).

3. Вычисляют сумму эффективных температур, которая накопится за весь период от времени возобновления вегетации до конца II декады мая:

$$90 + 68 = 158^\circ\text{C};$$

сумму эффективных температур, недостающую до нормы:

$$185 - 158 = 27^\circ\text{C}.$$

4. Рассчитывают, на какой день III декады мая накопится недостающая сумма эффективных температур ( $27^\circ\text{C}$ ). Для этого определяют ее значение за каждый день этой декады.

Средняя многолетняя декадная температура воздуха по исходным данным на станции Дмитров равна  $15,6^\circ\text{C}$ , а с поправкой на прогноз погоды в данном году она составит  $15,6 - 2 = 13,6^\circ\text{C}$ .

Вычитая биологический минимум, получают сумму эффективных температур, которая накапливается за каждый день,  $13,6 - 5 = 8,6^\circ\text{C}$ .

Недостающая сумма эффективных температур, равная  $27^\circ\text{C}$ , накопится за 3 дня:

$$27 : 8,6 = 3 \text{ дня}.$$

5. Находят общее число дней, которое необходимо для накопления нормы ( $185^\circ\text{C}$ ):

$$n = 10 + 3 = 13.$$

6. Определяют по формуле дату начала цветения яблони:

$$D = D_2 + n = 10,05 + 13 = 23.$$

Следовательно, цветение яблони наступит 24 мая (на следующий день).

Уточняют даты начала цветения яблони с учетом рельефа местности, занятой под садом.

Сравнивают вычисленную дату начала цветения яблони с многолетней датой наступления этой фазы (по агроклиматическому справочнику).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Прогноз сроков наступления фаз развития сельскохозяйственных культур.** Изучают методику и составляют прогноз сроков наступления фаз развития сельскохозяйственных культур: 1 — колошения яровой пшеницы (начальная фаза — выход в трубку); 2 — восковой спелости яровой пшеницы (начальная фаза — колошение); 3 — выметывания овса (начальная фаза — выход в трубку); 4 — восковой спелости овса (начальная фаза — выметывание) по исходным данным таблицы 17.2.

17.2. Форма для расчета ожидаемой даты наступления фазы

| Культура и сорт | Исходная фаза развития растения | Дата составления прогноза ( $D_0$ ) | Сумма эффективных температур за межфазный период ( $A$ ), °C | Средняя суточная температура прогнозируемого периода ( $t_{\text{ср}}$ ), °C | Биологический нуль ( $B$ ), °C | Продолжительность межфазного периода ( $n$ ), сут | Ожидаемая дата наступления фазы ( $D$ ) |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Яровая пшеница  | Выход в трубку                  | 12.06                               | 330                                                          | 18,0                                                                         | 5                              |                                                   |                                         |
|                 | Колошение                       | 07.07                               | 490                                                          | 20,5                                                                         | 5                              |                                                   |                                         |
| Овес            | Выход в трубку                  | 21.06                               | 375                                                          | 16,0                                                                         | 5                              |                                                   |                                         |
|                 | Выметывание                     | 25.07                               | 428                                                          | 20,5                                                                         | 5                              |                                                   |                                         |

**Задание 2. Прогноз даты начала цветения яблони.** Изучают методику и составляют прогноз даты начала цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная для отдельных пунктов Курской области, используя исходные данные таблицы 17.3.

17.3. Форма для расчета ожидаемой даты начала цветения яблони

| Наименование пункта | Дата составления прогноза ( $D_0$ ) | $\Sigma t_{\text{ср}}$ , °C |                                        | Среднесуточная температура в мае (норма), °C |            | Биологический нуль ( $B$ ), °C | Продолжительность периода от составления прогноза до цветения ( $n$ ), дней | Дата начала цветения ( $D$ ) |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                     |                                     | за межфазный период ( $A$ ) | на дату составления прогноза ( $A_1$ ) | II декада                                    | III декада |                                |                                                                             |                              |
| Поныри              | 10.05                               | 185                         | 79                                     | 13,1                                         | 15,0       | 5                              |                                                                             |                              |
| Дмитров             | 10.05                               | 185                         | 90                                     | 13,8                                         | 15,6       | 5                              |                                                                             |                              |
| Ушаково             | 10.05                               | 185                         | 90                                     | 13,5                                         | 15,4       | 5                              |                                                                             |                              |

Продолжение

| Наименование пункта | Дата составления прогноза ( $D_0$ ) | $\Sigma t_{\text{ср}}$ , °C |                                        | Среднесуточная температура в мае (норма), °C |            | Биологический нуль ( $B$ ), °C | Продолжительность периода от составления прогноза до цветения ( $n$ ), дней | Дата начала цветения ( $D$ ) |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                     |                                     | за межфазный период ( $A$ ) | на дату составления прогноза ( $A_1$ ) | II декада                                    | III декада |                                |                                                                             |                              |
| Рыльск              | 10.05                               | 185                         | 114                                    | 14,0                                         | 15,7       | 5                              |                                                                             |                              |
| Обоянь              | 10.05                               | 185                         | 104                                    | 14,0                                         | 15,9       | 5                              |                                                                             |                              |

**Примечание.** По прогнозу погоды среднесуточная температура воздуха в мае ожидается на 2 °C ниже средней многолетней нормы.

### Контрольные вопросы

1. Какую температуру называют эффективной и как ее рассчитывают? 2. Какие показатели используют для составления прогноза фаз развития полевых и плодовых культур? 3. Какие фазы развития сельскохозяйственных растений вы знаете? 4. Что называют биологическим нулем развития растений и какие значения он может иметь? 5. В чем практическое значение прогноза ожидаемых сроков наступления фаз развития полевых и плодовых культур?

## Лабораторная работа 18

### ПРОГНОЗ ПЕРЕЗИМОВКИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР



Научной основой *методов прогноза* перезимовки озимых зерновых культур являются результаты исследований физиологических процессов гибели посевов в период зимнего покоя от различных причин, динамики зимостойкости растений, закономерностей пространственной и временной изменчивости основных элементов агрометеорологических условий, определяющих перезимовку озимых, и инерционности их действия на зимующие растения. Они основаны на установленных количественных зависимостях между состоянием озимых посевов весной, интенсивностью и продолжительностью воздействия на растения неблагоприятных факторов, а также на полученных асинхронных связях между агрометеорологическими условиями перезимовки за прогнозируемый и пройденный периоды.

Изреженность или гибель посевов в зимнее время происходит в результате влияния комплекса неблагоприятных факторов, действующих в разные периоды или одновременно, вызывающих вымерзание, выпревание, вытирание, вымокание и др.

Главная причина гибели озимых на больших площадях — вымерзание и выпревание их зимой — процессы, разнонаправленные по условиям формирования. Вымерзание бывает при небольшом снежном покрове (или его отсутствии) и минимальной температуре на глубине узла кущения ниже критической, а выпревание, наоборот, при мощном снежном покрове с длительным его залеганием, мягкой зиме и талой почве.

Перезимовка озимых зерновых культур определяется их зимостойкостью, агрометеорологическими условиями осеннего и зимне-весеннего периодов и состоянием посевов осенью, отражающим уровень агротехники. Зимостойкость же растений обуславливается биологическими особенностями культуры и сорта, состоянием посевов ко времени прекращения осенней вегетации (у слаборазвитых и переросших посевов критическая температура вымерзания на 1...3 °C выше, чем у нормально развитых растений) и степенью закалки. При составлении прогнозов необходим учет всех этих факторов.

За основной показатель во всех прогностических зависимостях как при вымерзании, так и при выпревании взята минимальная температура почвы на глубине узла кущения до 20 февраля. Значение корреляционного отношения между площадью с погибшими посевами и температурой почвы на глубине узла кущения оказалось наибольшим ( $\eta = 0,76...0,94$ ). Как показали исследования В. А. Моисейчик, минимальная температура почвы на глубине узла кущения до 20 февраля в 97 % случаев совпадает с абсолютным минимумом температуры за всю зиму. Поэтому прогнозы вымерзания (выпревания) озимых посевов можно составлять, имея фактические или рассчитанные данные по минимальной температуре почвы на эту дату, после 20 февраля.

На основании долгосрочных прогнозов перезимовки озимых зерновых культур, оправдываемость которых составляет 85...90 %, планируют дополнительные фонды семян, топлива, техники, минеральных удобрений и рабочей силы, необходимых для посева погибших, подсева изреженных и подкормки ослабленных посевов весной.

### ПРОГНОЗ ВЫМЕРЗАНИЯ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Полная гибель растений от вымерзания наступает при повреждении морозами узла кущения — основного и единственного органа растений, способного к регенерации весной побегов и корней. У большинства сортов озимой пшеницы критическая температура вымерзания растений находится в пределах -16...-18 °C, а ржи — -22...-24 °C. Степень повреждения растений морозами определяется не только их интенсивностью, но и продолжительностью действия, скоростью понижения и повышения температуры, а также состоянием и морозостойкостью озимых культур.

При составлении прогноза вымерзания озимых культур рекомендуется использовать разработанные В. А. Моисейчик количественные зависимости изреженности озимых посевов весной от минимальной температуры почвы на глубине 3 см до 20 февраля.

Размеры площади с посевами озимой ржи, погибшими от вымерзания ожидаемой весной, можно вычислить по уравнению

$$S = 0,313 (t_2 + 5)^2 + 1,336 (t_1 + 5) + 2,238, \quad (18.1)$$

где  $S$  — ожидаемая площадь погибших посевов, % от общей посевной площади по области;  $t_1$  — средняя по области минимальная температура на глубине узла кущения до 20 февраля.

**П р и м е р.** Составить прогноз ожидаемой площади, %, погибших посевов озимой ржи в результате вымерзания, если известно, что средняя по области минимальная температура на глубине узла кущения до 20 февраля составила -14,8 °C.

Используя уравнение (18.1), находят

$$S = 0,313(-14,8 + 5)^2 + 1,336(-14,8 + 5) + 2,238 = 19,2 \%$$

Следовательно, ожидаемое состояние посевов озимой ржи удовлетворительное, но весной необходима подкормка минеральными удобрениями.

Определить площадь с погибшими посевами озимых культур от вымерзания можно и по графику, где хорошо выражена зависимость площади погибших посевов от минимальной температуры на глубине узла кушения (рис. 18.1).

Ожидаемую площадь вымерзания озимой пшеницы  $S_{\text{вп}}$  определяют по кривым в зависимости от сорта и состояния посевов осенью: кривой I пользуются для более морозостойких сортов пшеницы (Мироновская 808, Саратовская 90 и др.) при хорошем состоянии посевов осенью; кривой II — тоже при удовлетворительном состоянии посевов осенью и для менее морозостойких сортов (сорта Безостая 1, Дон 95 и др.) при хорошем состоянии посевов осенью; кривой III — для слабоморозостойких сортов (сорта Безостая 1, Краснодарская 90 и др.) с плохим состоянием посевов осенью из-за засухи и поздних сроков сева.

Как показывает анализ кривых, приведенных на рисунках, площадь с погибшими посевами, %, быстро увеличивается при понижении средней по области температуры почвы на глубине узла кушения ниже  $-10^\circ\text{C}$ . При температуре выше  $-10^\circ\text{C}$  лишь в отдельных случаях площадь с погибшими озимыми оказывалась более 10 %, при этом гибель озимых была вызвана не вымерзанием, а

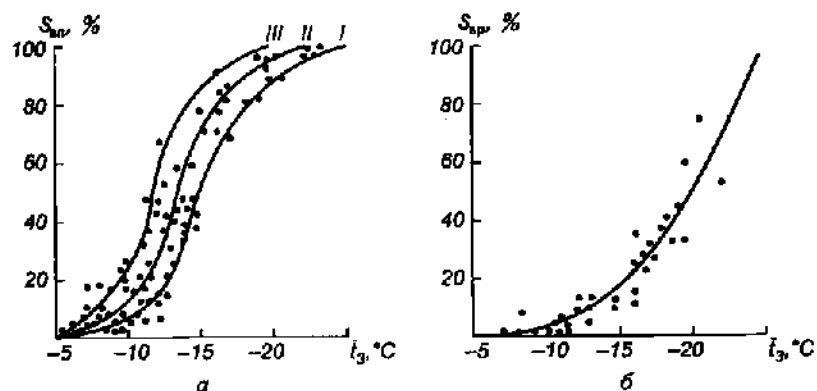


Рис. 18.1. Зависимость площади погибших посевов озимых культур: пшеницы  $S_{\text{вп}}$  и ржи  $S_{\text{р}}$  от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кушения  $t_3$  до 20 февраля:

а — посевы озимой пшеницы; б — посевы озимой ржи

другими причинами (выдуванием или выпреванием растений озимой пшеницы и ржи).

Пример. Оценить состояние посевов озимой пшеницы сорта Безостая 1 весной, если сроки сева из-за засухи были поздними, а минимальная температура на глубине узла кушения до 20 февраля понижалась до  $-15,3^\circ\text{C}$ .

Пользуясь графиком (рис. 18.1), по кривой III определяют, что ожидаемая площадь с погибшими посевами составит 88 %.

Таким образом, посевы озимой пшеницы весной будут признаны погибшими от вымерзания и почти на всех полях необходим пересев яровыми культурами.

### ПРОГНОЗ ВЫПРЕВАНИЯ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Основные показатели агрометеорологических условий, при которых выпревают озимые культуры, как показали исследования В. А. Мойсейчик: высота снежного покрова  $\geq 30$  см, глубина промерзания почвы  $\leq 50$  см, продолжительность периода залегания на полях снежного покрова, минимальная температура почвы на глубине узла кушения.

Минимальная температура почвы на глубине узла кушения имеет одно из решающих значений при выпревании озимых культур. При более высокой температуре интенсивнее расходуются питательные вещества на дыхание растений, особенно сахара, значительно больше удлиняется конус нарастания и, наконец, под снежным покровом интенсивнее развиваются бактерии и мицелий различного вида грибов, окончательно поражающих растения при выпревании. Таким образом, чем выше минимальная температура почвы на глубине узла кушения под мощным снежным покровом, тем больше должна быть изреженность озимых посевов.

Зависимость между площадью погибших посевов, %, от выпревания  $S_{\text{в}}$  и минимальной температурой почвы на глубине узла кушения  $t_3$  до 20 февраля, а также продолжительностью периода  $n$  с высотой снежного покрова 30 см и более выражается следующим уравнением:

$$S_{\text{в}} = 6,32t_3 + 0,29t_3^2 + 0,11n + 0,07n^2 + 30,93. \quad (18.2)$$

Количество сохранившихся после перезимовки стеблей у растений озимой ржи и озимой пшеницы имеет тесную обратную связь с продолжительностью периода залегания на полях снежного покрова с высотой  $\geq 30$  см. Уравнение связи имеет вид:

$$P = 123,0n - 5,4, \quad (18.3)$$

где  $P$  — число стеблей у озимых культур на 10-й день после возобновления вегетации весной, выраженное в процентах от их количества осенью;  $n$  — число декад с

высотой снежного покрова  $\geq 30$  см, образовавшегося при глубине промерзания почвы  $\leq 50$  см. При более глубоком промерзании (до 80 см и более) температура почвы на глубине узла кущения даже после образования на полях снежного покрова высотой более 30 см достигает пределов, при которых выпревания не происходит (ниже  $-8^\circ\text{C}$ ).

Продолжительность ожидаемого периода выпревания растений зависит от срока установления снежного покрова высотой  $\geq 30$  см, а уравнение связи имеет вид:

$$n = 17,540 - 1,128x, \quad (18.4)$$

где  $n$  — число декад с высотой снежного покрова  $\geq 30$  см;  $x$  — срок (декада) установления такого снежного покрова. За  $x = 1$  принята первая декада ноября.

Эта зависимость позволяет уже в первую декаду образования на полях мощного снежного покрова, зная глубину промерзания почвы, рассчитать ожидаемую продолжительность периода выпревания растений и по предыдущему уравнению дать прогноз степени повреждения озимых посевов на конкретном поле. Повреждение растений происходит при  $n > 8$  декад, а очень плохие условия зимовки складываются при  $n > 12$  декад. Наиболее подвержены выпреванию переросшие посевы. У них полностью погибает большое количество поврежденных растений и стеблей.

**П р и м е р.** Площадь посевов озимой ржи 10 тыс. га, снежный покров высотой более 30 см установился в I декаде декабря, минимальная температура на глубине узла кущения  $-4^\circ\text{C}$ . Определить площадь погибших от выпревания посевов ржи.

1. Продолжительность залегания снежного покрова высотой более 30 см вычисляют по формуле (18.4):

$n = 17,540 - 1,128 - 4 = 13$  (так как  $x$  складывается из трех декад ноября и одной декады декабря).

2. Площадь с погибшими от выпревания посевами определяют по формуле (18.2):

$$S_p = -6,32 \cdot 4 + 0,29 \cdot 16 + 0,11 \cdot 13 + 0,07 \cdot 13^2 + 30,93 = 23,5 \%$$

В соответствии с расчетами озимая рожь может погибнуть на 23,5 % площади (2350 га).

В районах выпревания за плохие принимают посевы полностью погибшие и с изреженностью более 50 % растений на большей части поля. Посевы, поврежденные на меньшей части поля (30...50 %) при выпревании, как правило, не пересевают, несмотря на то, что весной, после схода с полей снежного покрова, их оценивают как плохие.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Прогноз ожидаемой гибели озимых посевов от вымерзания.** Изучают методику и составляют прогноз ожидаемой гибели озимых посевов в результате вымерзания по форме таблицы 18.1.

18.1. Форма расчета ожидаемой площади погибших посевов озимых зерновых культур от вымерзания

| Культура       | Площадь озимых посевов по области, тыс. га | Состояние посевов осенью | Средняя по области минимальная температура $t_z$ на глубине залегания узла кущения до 20 февраля, $^\circ\text{C}$ | Ожидаемая площадь погибших посевов от вымерзания |    | Состояние посевов весной | Планируемые мероприятия |
|----------------|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|--------------------------|-------------------------|
|                |                                            |                          |                                                                                                                    | %                                                | га |                          |                         |
| Озимая рожь    | 70                                         | Хорошее                  | -15,3                                                                                                              |                                                  |    |                          |                         |
|                | 70                                         | Плохое                   | -22,9                                                                                                              |                                                  |    |                          |                         |
| Озимая пшеница | 115                                        | Хорошее                  | -12,5                                                                                                              |                                                  |    |                          |                         |
|                | 115                                        | Плохое                   | -12,5                                                                                                              |                                                  |    |                          |                         |

**Примечание.** Расчет для озимой пшеницы проводят по графику (см. рис. 18.1).

**Задание 2. Прогноз ожидаемой гибели озимых от выпревания.** Изучают методику и составляют прогноз ожидаемой гибели озимых от выпревания по форме таблицы 18.2.

18.2. Форма расчета ожидаемой площади погибших посевов озимых зерновых культур от выпревания

| Культура       | Площадь озимых посевов по области, тыс. га | Состояние посевов осенью | Средняя по области минимальная температура $t_z$ на глубине залегания узла кущения до 20 февраля, $^\circ\text{C}$ | Дата установления снежного покрова $\geq 30$ см | Ожидаемая продолжительность периода с высотой снежного покрова $\geq 30$ см | Ожидаемая площадь погибших посевов от выпревания |    | Состояние посевов весной | Планируемые мероприятия |
|----------------|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|--------------------------|-------------------------|
|                |                                            |                          |                                                                                                                    |                                                 |                                                                             | %                                                | га |                          |                         |
| Озимая рожь    | 152                                        | Хорошее                  | -3,5                                                                                                               | 08.12                                           |                                                                             |                                                  |    |                          |                         |
|                | 152                                        | "                        | -8,8                                                                                                               | 29.12                                           |                                                                             |                                                  |    |                          |                         |
| Озимая пшеница | 180                                        | "                        | -9,3                                                                                                               | 01.01                                           |                                                                             |                                                  |    |                          |                         |
|                | 180                                        | "                        | -2,1                                                                                                               | 27.11                                           |                                                                             |                                                  |    |                          |                         |

## Контрольные вопросы

1. На чем основаны методы составления прогнозов перезимовки озимых зерновых культур? 2. Какие агрометеорологические условия способствуют вымерзанию озимых зерновых культур? 3. При каких агрометеорологических условиях возможно выпревание озимой пшеницы и озимой ржи? 4. Зачем необходим расчет ожидаемой площади погибших посевов от вымерзания и выпревания? 5. Какие еще неблагоприятные агрометеорологические условия зимнего периода вы знаете?

## Лабораторная работа 19

### ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР



Один из главных агрометеорологических прогнозов, имеющий важное государственное значение, — прогноз урожайности основных сельскохозяйственных культур. Его составляют с большой заблаговременностью, что позволяет определить ряд конкретных мероприятий по уборке, транспортировке, хранению, переработке ожидаемого урожая и т. д.

Возможность постоянно получать устойчивые и высокие урожаи сельскохозяйственных культур зависит от ряда факторов, обладающих различным влиянием и изменчивостью во времени и пространстве. Многие из них, такие, как почвенные условия, биологические особенности сорта (гибрида), некоторые приемы возделывания, качество семенного материала, довольно стабильны. Агрометеорологические же условия характеризуются значительной изменчивостью. Поэтому они (при прочих равных условиях), влияя на рост и развитие растений, в значительной мере определяют их урожайность.

При разработке метода прогноза урожайности основных культур очень большое значение имеет исследование закономерностей его формирования и выявление степени инерционности факторов, определяющих различные количественные прогностические зависимости. Эти зависимости выражены уравнениями многофакторных связей, которые позволяют рассчитывать ожидаемую урожайность как по отдельным полям, так и среднюю областную (краевую) урожайность.

Далее рассмотрены статистические методы долгосрочных прогнозов урожайности и техника их составления для сельскохозяйственных культур, имеющих наибольшее продовольственное и промышленное значение, а также возделываемых на больших площадях.

С внедрением новых, высокопродуктивных сортов (гибридов) и передовых технологий возделывания сельскохозяйственных культур методы прогноза ожидаемого урожая могут совершенствоваться. Однако в качестве предикторов (основных и лимитирующих) в применяемых многофакторных уравнениях регрессии, позволяющих составлять прогноз урожайности культур с

различной заблаговременностью, выступают те же факторы, характеризующие состояние погоды, растений и применяемой агротехники.

### ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Методика составления агрометеорологического прогноза ожидаемой урожайности озимой пшеницы по конкретным полям (районов черноземных почв), основанная на количественной зависимости урожайности от агрометеорологических условий и состояния посевов, разработана Е. С. Улановой.

Важный лимитирующий фактор в основных районах возделывания озимой пшеницы, особенно в зоне с недостаточными и неустойчивыми условиями увлажнения, — весенние запасы влаги в почве, которые являются главным водным ресурсом создания будущего урожая. Как показали исследования, урожай озимой пшеницы при оптимальных (180...200 мм) запасах продуктивной влаги в почве в весенне-летний период для черноземных районов может достигать 4,0...6,0 т/га и более, а при низких резко снижается — до 0,8...1,0 т/га.

Второй важный инерционный фактор, определяющий урожай, — число стеблей озимой пшеницы на 1 м<sup>2</sup> весной, которые сохранились после перезимовки и являются потенциальным резервом будущего числа колосоносных стеблей в период созревания. Весной и в период роста стебля оптимальное для урожайности общее число стеблей озимой пшеницы составляет 1000...1600 на 1 м<sup>2</sup>, а число колосоносных стеблей в период от колошения до созревания — 500...800 на 1 м<sup>2</sup>.

Было определено также важное значение для урожайности высоты растений в пределах сорта и числа различных элементов продуктивности. Подробно исследовали влияние осадков апреля, мая и июня на урожайность озимой пшеницы, установив, что осадки весенне-летнего периода меньше влияют на урожайность, чем запасы влаги в почве и число стеблей весной.

Таким образом, главные инерционные факторы в большинстве лет, определяющие не только настоящие, но и будущие условия формирования урожая озимой пшеницы, — запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы и число стеблей на 1 м<sup>2</sup>, сохранившихся после перезимовки. Кроме того, прослеживается довольно тесная связь ожидаемого урожая и с высотой озимой пшеницы в фазе колошения, продолжительностью межфазных периодов, температурой воздуха, осадками и числом колосков в колосе. Они являются интегральными показателями, так как характеризуют агрометеорологические условия за длительный предшествующий период и состояние растений, в которых учтено действие внесенных удобрений, агротехники, влияние предшественников и плодородия почвы.

На основании исследований и обработки данных наблюдений за длительный ряд лет получены прогностические уравнения, которые позволяют рассчитать с большой заблаговременностью ожидаемую урожайность для большинства сортов озимой пшеницы для отдельного поля.

В декаду весеннего обследования посевов, имея данные о запасах влаги, мм, в метровом слое почвы  $W$ , мм, и числе стеблей озимой пшеницы  $n$  на  $1 \text{ м}^2$ , ожидаемую урожайность, т/га, сортов интенсивного типа Безостая 1 и Мироновская 808 можно рассчитать с трехмесячной заблаговременностью:

$$Y = 0,1(0,059W + 0,024n - 2,97). \quad (19.1)$$

С двухмесячной заблаговременностью (фаза выхода в трубку) ожидаемая урожайность озимой пшеницы для отдельного поля с 87%-й обеспеченностью:

$$Y = 0,1(-24,4 + 0,29W - 10^{-3}W^2 + 0,04n - 10^{-5}n^2 - 0,52t - 0,02t^2 - 0,02r + 10^{-3}r^2), \quad (19.2)$$

где  $Y$  — урожайность озимой пшеницы, т/га;  $W$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной, мм;  $n$  — число стеблей на  $1 \text{ м}^2$  в фазе выхода в трубку;  $t$  и  $r$  — соответственно средняя температура воздуха, °C, и сумма осадков, мм, за период возобновления вегетации — выход в трубку.

В период начала фазы колошения озимой пшеницы высокую обеспеченность (90 %) дает уравнение (19.3), по которому можно рассчитать ожидаемую урожайность  $Y$ , т/га, с месячной заблаговременностью в зависимости от запасов влаги в метровом слое почвы весной  $W$ , мм, числа колосоносных стеблей  $n$  на  $1 \text{ м}^2$  в фазе колошения, суммы осадков  $r$ , мм, за период возобновления вегетации — колошение, средней температуры  $t$ , °C, за этот же период и высоты озимой пшеницы  $h$ , см, в фазе колошения

$$Y = 0,1(-42,8 + 0,35W - 11 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,02n - 7 \cdot 10^{-6}n^2 - 4 \cdot 10^{-3}r - 2 \cdot 10^{-4}r^2 + 3,3t - 0,15t^2 + 0,24h + 4 \cdot 10^{-6}h^2). \quad (19.3)$$

Для составления прогноза урожайности новых сортов пшеницы используют те же прогностические уравнения, но с другими коэффициентами.

Несмотря на некоторую внешнюю громоздкость квадратических уравнений, рассчитывать ожидаемую урожайность озимой пшеницы по ним несложно. Для этого необходимы данные с наблюдательного агрометеорологического участка на конкретном поле о запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы, числе стеблей озимой пшеницы на  $1 \text{ м}^2$ , ее высоте, а также элементах продуктивности и данные о метеорологических характеристиках.

Для планирующих организаций наиболее важны прогнозы урожайности озимой пшеницы не по отдельным полям, а в среднем по области, краю или республике. Так, составить долгосрочный прогноз средней областной урожайности озимой пшеницы сортов Безостая 1 и Мироновская 808 для центральных черноземных областей, Среднего и Нижнего Поволжья с трехмесячной заблаговременностью можно по уравнению:

$$Y = 0,1(-21,12 + 0,33W - 8 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,023n - 8 \cdot 10^{-6}n^2), \quad (19.4)$$

где  $W$  — средние по области запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду весеннего обследования, мм;  $n$  — среднее по области число стеблей на  $1 \text{ м}^2$  весной.

По мере наступления очередных фаз развития озимой пшеницы (выхода в трубку, колошения) возможно рассчитать и уточненные прогнозы средней по области урожайности с двухмесячной и месячной заблаговременностью. При этом помимо основных факторов используют и другие важные элементы (высота растений, число колосоносных стеблей, число колосков в колосе, осадки), характеризующие состояние растений, их продуктивность и агрометеорологические условия и имеющие на данном этапе устойчивую связь с ожидаемой средней по области урожайностью озимой пшеницы.

## ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

Кукуруза — древнейшее культурное растение, одна из основных культур современного мирового земледелия, разностороннего использования и высокой урожайности. Эта культура требовательна к условиям произрастания, и хотя относится к мезофитам, при высоких урожаях ей необходимо большое количество влаги, особенно в слое распространения основной массы корней (0...50 см). Критический период для кукурузы по влагообеспеченности — фаза выхода в трубку — выметывание, а также период формирования элементов продуктивности початка, когда недостаток влаги в почве служит основной причиной низкой урожайности зерна.

Один из методов долгосрочного прогноза ожидаемой урожайности зерна кукурузы разработан Ю. И. Чирковым. На основании обработки обширного материала наблюдений была установлена корреляционная связь урожайности кукурузы с запасами продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см в фазе выметывания метелки и с площадью листовой поверхности, выражающей фотосинтетический потенциал. Последний фактор, кроме того, является интегральным показателем состояния посевов, косвенно отражающим агрометеорологические условия предшествующего периода, уровень агротехники, действие удобрений, предшественника.

По площади листовой поверхности можно дать следующую оценку состояния растений:

менее 10 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га — свойственна посевам ранних сортов и изреженным посевам средних и поздних сортов кукурузы — состояние посева неудовлетворительное;

10...15 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га — состояние растений удовлетворительное;

16...25 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га — свойственна посевам кукурузы в хорошо увлажненных районах Северного Кавказа — состояние посевов хорошее;

26...30 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га и более — состояние посевов отличное. Наибольшую продуктивность фотосинтеза имеют посевы кукурузы, у которых площадь листовой поверхности около 30 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га.

Площадь листовой поверхности одного растения, дм<sup>2</sup>,

$$S = 0,37h - 16,3, \quad (19.5)$$

где  $h$  — средняя высота растений (из 20 растений в одном ряду), см.

Зная число растений на 1 га (густота посева), можно вычислить площадь листовой поверхности, тыс. м<sup>2</sup> на 1 га.

В практике прогноза урожайности зерна кукурузы используют систему уравнений, полученных для различных площадей листовой поверхности посева в фазе выметывания метелки. В расчет вводят поправки на температуру воздуха в период формирования элементов продуктивности початка и в течение месяца после выметывания метелки (табл. 19.1).

19.1. Коэффициент  $K_2$ , зависящий от температуры воздуха в течение месяца после выметывания метелки

| Запасы продуктивной влаги, % | Средняя за период температура воздуха, °C |      |      |      |      |
|------------------------------|-------------------------------------------|------|------|------|------|
|                              | 16                                        | 18   | 20   | 22   | 24   |
| 100                          | 0,68                                      | 0,86 | 0,97 | 1,00 | 0,96 |
| 80                           | 0,72                                      | 0,88 | 0,99 | 0,98 | 0,90 |
| 60                           | 0,78                                      | 0,90 | 1,00 | 0,93 | 0,80 |
| 40                           | 0,84                                      | 0,93 | 0,97 | 0,86 | 0,65 |
| 20                           | 0,90                                      | 0,92 | 0,90 | 0,80 | 0,50 |

В общем виде уравнение для конкретного поля имеет вид:

$$Y_S = K_2(-aW^2 + bW - c)/K_1W_1, \quad (19.6)$$

где  $Y_S$  — урожайность при данной листовой поверхности, т/га;  $K_2$  — коэффициент, зависящий от температуры воздуха в течение месяца после выметывания метелки (температуру определяют по прогнозу);  $a, b, c$  — коэффициенты, зависящие от площади листовой поверхности (табл. 19.2);  $W$  — запасы продуктивной влаги в слое 0...50 см в фазе выметывания метелки, мм;  $K_1W_1$  — коэффициент, зависящий от среднесуточной температуры и средних влагозапасов в период IV...VI этапов органогенеза початка.

При оптимальных условиях роста и развития кукурузы поправочные коэффициенты  $K_2$  и  $K_1W_1$  принимают за единицу и расчеты проводят по формуле

$$Y_S = 0,1(aW^2 + bW + c). \quad (19.7)$$

19.2. Коэффициенты  $a, b, c$

| Площадь листовой поверхности, тыс. м <sup>2</sup> /га | $a$     | $b$  | $c$  |
|-------------------------------------------------------|---------|------|------|
| 30                                                    | -0,0071 | 1,41 | -3,2 |
| 20                                                    | -0,006  | 1,1  | -4,2 |
| 10                                                    | -0,0029 | 0,53 | -1,5 |

Урожайность зерна кукурузы можно определить и по графику на рисунке 19.1, на котором представлена зависимость урожайности от запасов продуктивной влаги в полуметровом слое почвы кривыми второго порядка, соответствующими определенной площади листовой поверхности.

В связи с внедрением новых индустриальных технологий возделывания кукурузы, а также новых сортов и гибридов возникла необходимость в разработке усовершенствованных методов долгосрочного прогноза средней по области урожайности зерна кукурузы.

Были проанализированы тенденции роста урожайности, обусловленной изменением технологии возделывания и введением новых сортов, и переменной ее составляющей, зависящей от условий погоды по областям Северо-Кавказского, Центральночерноморского и Поволжского экономических районов (А. И. Страшная, Л. В. Комоцкая, С. Н. Ломцева).

В качестве предикторов для прогностических уравнений использовали следующие показатели: средние по области сумма осадков, температура воздуха, гидротермический коэффициент, высота растений в фазе выметывания метелки, урожайность зерна кукурузы за последние три года; запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0...100 и 0...50 см к началу выметывания; число дней со средней суточной температурой воздуха выше 25 °C и др.

В качестве примера можно привести уравнения регрессии для прогноза средней областной урожайности

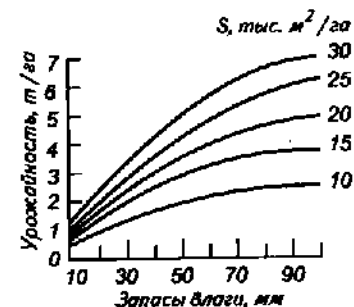


Рис. 19.1. Зависимость урожайности зерна кукурузы от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см и площади листовой поверхности  $S$

зерна кукурузы для Краснодарского края с трехмесячной и месячной заблаговременностью соответственно:

$$Y = 0,1(0,045R_{05...06} - 3,58t_{07} - 0,13X + 110,22); \quad (19.8)$$

$$Y = 0,1(0,04W_{50} + 0,24h - 0,70n_{07...08} + 28,43), \quad (19.9)$$

где  $Y$  — средняя областная урожайность, т/га;  $R_{05...06}$ ,  $t_{07}$  — средние по области суммы осадков за май — июнь, мм, и температура воздуха, °C;  $X$  — средняя урожайность зерна за последние три года, ц/га;  $W_{50}$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см, мм;  $h$  — высота растений в фазе выметывания метелки, см;  $n_{07...08}$  — число дней со средней суточной температурой воздуха выше 25 °C за июль — август.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Прогноз урожайности озимой пшеницы.** 1. Изучают методику составления прогноза урожайности озимой пшеницы для отдельного поля.

2. Составляют прогноз ожидаемой урожайности с заблаговременностью:

трехмесячной в декаду возобновления вегетации [уравнение (19.1)];

двухмесячной в фазе выхода в трубку [уравнение (19.2)];

месячной в фазе колошения [уравнение (19.3)].

Исходные данные и форма для расчета приведены в таблице 19.3.

19.3. Форма для составления прогноза урожайности озимой пшеницы по конкретным полям с различной заблаговременностью

| Заблаговременность составления прогноза | Фаза развития растений в период составления прогноза | $W$ , мм | $n$ , на 1 м <sup>2</sup> | $t$ , °C | $g$ , мм | $h$ , см | $Y$ , т/га |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|------------|
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|------------|

Месячная

Двухмесячная

Трехмесячная

**Задание 2. Прогноз ожидаемой урожайности зерна кукурузы.** Изучают методику и составляют прогноз ожидаемой урожайности зерна кукурузы при различных условиях роста по методу Ю. И. Чиркова, используя исходные данные и уравнение (19.6) с соответствующими коэффициентами. Результаты представляют в форме таблицы 19.4.

19.4. Форма для составления прогноза ожидаемой урожайности зерна кукурузы

| Вариант | Запасы продуктивной влаги в почве 0...50 см в фазе выметывания метелки $W$ , мм | Площадь листовой поверхности $S$ , тыс. м <sup>2</sup> /га | Средняя температура воздуха в течение месяца после выметывания метелки $t$ , °C | Ожидаемая урожайность зерна $Y$ , т/га |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1       | 60                                                                              | 20                                                         | 22                                                                              |                                        |
| 2       | 80                                                                              | 30                                                         | 20                                                                              |                                        |
| 3       | 40                                                                              | 10                                                         | 24                                                                              |                                        |
| 4       | 100                                                                             | 30                                                         | 21                                                                              |                                        |
| 5       | 50                                                                              | 25                                                         | 19                                                                              |                                        |
| 6       | 70                                                                              | 15                                                         | 20                                                                              |                                        |
| 7       | 70                                                                              | 20                                                         | 18                                                                              |                                        |
| 8       | 30                                                                              | 20                                                         | 22                                                                              |                                        |
| 9       | 80                                                                              | 25                                                         | 16                                                                              |                                        |
| 10      | 90                                                                              | 30                                                         | 22                                                                              |                                        |

### Контрольные вопросы

1. Что служит научной основой методов долгосрочного прогноза урожайности сельскохозяйственных культур? 2. Какие общие факторы влияют на формирование урожая сельскохозяйственных культур? 3. Какие показатели характеризуют состояние растений зерновых культур? 4. Почему весенние запасы продуктивной влаги являются главными в формировании урожайности зерновых? 5. Какое значение имеют долгосрочные прогнозы урожайности для народного хозяйства?

Основная задача практики — закрепить теоретические знания по агрометеорологии и дать навыки правильного использования метеорологической информации в производственной деятельности. Тема практики сформулирована как *оценка агрометеорологических условий года*.

Выполнение этой работы позволяет объективнее рассматривать итоги полевых опытов, учитывать влияние погодных условий на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, эффективность применения удобрений, находить оптимальные приемы борьбы с вредителями и болезнями.

Материал для анализа погодных условий конкретного года найдет применение в курсовых и дипломных работах, в отчетах по практике. Рассматривают агрометеорологические условия не календарного года, а сельскохозяйственного, т. е. с октября предыдущего по сентябрь текущего года.

Основной путь решения задач практики — сравнительный анализ метеорологических условий конкретного года с климатической нормой, в результате которого дают оценку тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, неблагоприятным явлениям погоды, условиям перезимовки.

При проведении учебной практики по агрометеорологии используют многолетние средние значения метеорологических элементов ближайшей метеорологической станции и данных за конкретный год. По результатам работы составляют краткую характеристику агрометеорологических условий года. Выполненное задание сдают преподавателю в форме отчета. В зависимости от дней, выделенных на учебную практику, проводят ее по-разному.

При двухдневной практике оценивают агрометеорологические условия только вегетационного периода. В первый день выписывают необходимую метеорологическую информацию, составляют таблицы и выполняют расчеты, во второй день готовят характеристику вегетационного периода и сдают отчет.

При трехдневной практике оценивают агрометеорологические условия всего года. Первый день полностью посвящают выборке метеорологических и климатических данных, во второй день дела-

ют расчеты, составляют таблицы, строят графики, в третий день пишут отчет с оценкой агрометеорологических условий и сдают преподавателю.

## ЗАДАНИЕ ПО ОЦЕНКЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОДА

1. Составить таблицы климатических данных по выбранной метеорологической станции, используя «Агроклиматические справочники по ... области», «Справочники по климату» или получив эту информацию непосредственно на станции (табл. 1...6).

2. Выписать данные по метеорологической станции за конкретный год, погодные условия которого берут для анализа, по тем же элементам, что и климатические. Составить характеристику метеорологических условий по месяцам этого года аналогично таблицам 1...6.

3. Выполнить расчеты характеристик термических условий тепло- и холодного (табл. 7, 10) сезонов, а также условий увлажнения (табл. 8, 9), в отклонениях от средних многолетних значений основных элементов: температуры воздуха, сумм температур, осадков, гидротермического коэффициента и др. Заполнить обобщенную таблицу агрометеорологической характеристики зимнего периода (табл. 11).

4. Дать оценку агрометеорологических условий сельскохозяйственного года (или вегетационного периода) на основе анализа климатических данных (см. табл. 1...6), условий по сезонам года, расчетов по отклонению основных элементов от нормы (см. табл. 7...10) с применением нормативных агрометеорологических показателей (рис. 1, табл. 12...16).

5. Построить график годового хода основных элементов (температуры воздуха и сумм осадков) по месяцам. В качестве образца взять рисунок 1, дополнив его изображением хода температуры за  $N$  лет (преры-

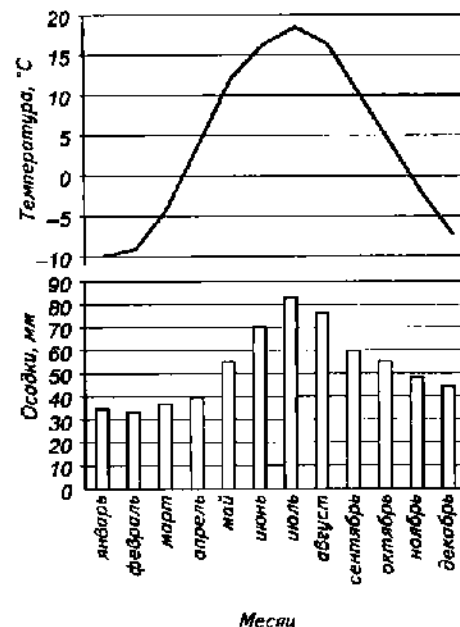


Рис. 1. Годовой ход температуры воздуха и осадков (по многолетним данным обсерватории  
им. В. А. Михельсона)

вистая, ломаная линия) и сумм осадков (заштрихованные столбики).

6. Подготовить отчет о практике, включив в него материал выполненных заданий 1...5.

#### 1. Многолетние средние значения основных метеозадач по данным метеорологической станции ...

| Параметр                                                          | Декада | Месяц |    |    |    |    |    |     |    |
|-------------------------------------------------------------------|--------|-------|----|----|----|----|----|-----|----|
|                                                                   |        | 01    | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | ... | 12 |
| Средняя декадная температура воздуха, °C                          | I      |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | II     |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | III    |       |    |    |    |    |    |     |    |
| Сумма среднесуточных температур выше 10 °C нарастающим итогом, °C | I      |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | II     |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | III    |       |    |    |    |    |    |     |    |
| Количество осадков, мм: по декадам                                | I      |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | II     |       |    |    |    |    |    |     |    |
|                                                                   | III    |       |    |    |    |    |    |     |    |
| за месяц                                                          |        |       |    |    |    |    |    |     |    |
| Недостаток насыщения, гПа                                         |        |       |    |    |    |    |    |     |    |
| Гидротермический коэффициент (за май — август)                    |        |       |    |    |    |    |    |     |    |

#### 2. Даты перехода и число дней со средней суточной температурой выше 0, 5, 10 °C

| Выше 0 °C |       |            | Выше 5 °C |       |            | Выше 10 °C |       |            |
|-----------|-------|------------|-----------|-------|------------|------------|-------|------------|
| начало    | конец | число дней | начало    | конец | число дней | начало     | конец | число дней |
|           |       |            |           |       |            |            |       |            |

#### 3. Дата последнего и первого заморозков и продолжительность беззаморозкового периода

|                            |                         |                           |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Последний заморозок весной | Первый заморозок осенью | Продолжительность периода |
|                            |                         |                           |

#### 4. Средняя продолжительность холодного сезона

| Параметр                                                   | Начало | Конец | Продолжительность |
|------------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|
| Дата перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0 °C |        |       |                   |

#### 5. Средние даты выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова, окончания снеготаяния

|                              |                                               |                            |
|------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| Дата выпадения первого снега | Дата образования устойчивого снежного покрова | Дата окончания снеготаяния |
|                              |                                               |                            |

#### 6. Многолетние средние характеристики снежного покрова по данным метеорологической станции

| Параметр                                                   | Декада | Месяц |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------------------------|--------|-------|----|----|----|----|----|
|                                                            |        | 10    | 11 | 12 | 01 | 02 | 03 |
| Высота снежного покрова на последний день декады, см       | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | III    |       |    |    |    |    |    |
| Плотность снежного покрова на последний день декады, г/см³ | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | III    |       |    |    |    |    |    |
| Запасы воды в снеге на последний день декады, мм           | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | III    |       |    |    |    |    |    |
| Глубина промерзания почвы на последний день декады, см     | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                            | III    |       |    |    |    |    |    |

#### ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГОДА

Таблица 7. Отклонения от многолетних средних значений температуры рассчитывают по декадам каждого месяца. Если средняя температура за декаду в данном году будет выше многолетней (см. табл. 1), то ставят знак «+» (положительное отклонение), если ниже, то знак «-» (отрицательное отклонение). Таким образом определяют, теплее или холоднее была эта декада.

#### 7. Характеристика термических условий теплого сезона \_\_\_\_ год

| Параметр                                                           | Декада | Месяц |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------|--------|-------|----|----|----|----|----|
|                                                                    |        | 04    | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, °C | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | III    |       |    |    |    |    |    |
| Сумма активных температур >10 °C нарастающим итогом, °C            | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | III    |       |    |    |    |    |    |
| Сумма эффективных температур >5 °C нарастающим итогом, °C          | I      |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | II     |       |    |    |    |    |    |
|                                                                    | III    |       |    |    |    |    |    |

Пример. Средняя многолетняя температура в мае по декадам 12,4; 14,8; 16,5 °C; в N году соответственно 11,4; 13,6; 18,7 °C. Отклонения составят: -1,0; -1,2; +2,2 °C.

Сумму активных температур выше 10 °С можно получить только за декады с температурой выше 10 °С.

**П р и м е р.** По тем же температурам мая в *N* году 11,4; 13,6; 18,7 °С суммы активных температур составят:  $11,4 \cdot 10 = 114$  °С;  $13,6 \cdot 10 = 136$  °С;  $18,7 \cdot 11 = 205,7$  °С (в третьей декаде мая 11 дней).

Нарастающим итогом они будут выглядеть следующим образом: I декада — 114 °С, II декада —  $114 + 136 = 250$  °С, III декада —  $250 + 205,7 = 455,7$  °С (456 °С округленно). Следовательно, к концу мая накопилось 456 °С сумм активных температур.

Так же рассчитывают далее суммы активных температур за весь период, когда среднесуточные температуры выше 10 °С (по декадам).

Сумму эффективных температур определяют по средним декадным температурам выше 5 °С. При этом из каждой декадной температуры вычитают 5 °С, а остаток умножают на число дней декады (10 или 11).

**П р и м е р.** По тем же температурам мая в *N* году 11,4; 13,6; 18,7 °С суммы эффективных температур составят:  $(11,4 - 5,0) \cdot 10 = 64$  °С;  $(13,6 - 5,0) \cdot 10 = 86$  °С;  $(18,7 - 5,0) \cdot 11 = 150,7$  °С.

Нарастающим итогом получим: I декада 64 °С; II декада  $64 + 86 = 150$  °С; III декада  $150 + 150,7 = 300,7$  °С (округленно 301 °С). К концу мая накопилось 301 °С сумм эффективных температур выше 5 °С. Аналогично ведут расчет за весь период с декадной температурой выше 5 °С.

**Таблица 8.** Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков принято давать в процентах. Определяют, сколько процентов составляет сумма выпавших осадков в декаде от нормы.

8. Характеристика условий увлажнения теплого сезона \_\_\_\_ год

| Параметр                                                   | Декада         | Месяц |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------------------------|----------------|-------|----|----|----|----|----|
|                                                            |                | 04    | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| Месячная сумма осадков, мм                                 | —              |       |    |    |    |    |    |
| Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, % | I<br>II<br>III |       |    |    |    |    |    |
| ГТК за месяц                                               |                |       |    |    |    |    |    |
| ГТК за май — август                                        |                |       |    |    |    |    |    |

**П р и м е р.** В апреле *N* года выпало осадков по декадам 6, 13, 24 мм, средние многолетние суммы соответственно 12, 13, 12 мм, отклонения составят 50, 100, 200 %. В первой декаде выпало 50 % осадков нормы, во второй — норма (100 %), в третьей — две нормы

(200 %). Подобный расчет дает возможность оценить суммы осадков в отношении их недостатка или избытка.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) рассчитывают по формуле

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \Sigma t > 10^\circ \text{C}}, \quad (1)$$

где *r* — осадки, мм;  $\Sigma t > 10^\circ \text{C}$  — суммы температур выше 10 °С.

ГТК принято рассчитывать за период не менее месяца. Поэтому берут месячные суммы осадков и суммы активных температур за соответствующий месяц (см. табл. 7).

**П р и м е р.** Сумма осадков за май *N* года 60 мм, сумма температур выше 10 °С равна 456 °С:

$$\text{ГТК} = \frac{60}{0,1 \cdot 456} = \frac{60}{45,6} = 1,32.$$

ГТК за май — август получают не осреднением его месячных значений, а подсчетом сумм осадков и сумм температур за весь названный период.

**Таблица 9.** Отклонения от многолетних сумм осадков по декадам холодного периода года (10...03) выполняют так же, как и в таблице 8.

9. Характеристика условий увлажнения холодного сезона

| Параметр                                                   | Декада         | Год ____ |    |    | Год ____ |    |    |
|------------------------------------------------------------|----------------|----------|----|----|----------|----|----|
|                                                            |                | Месяц    |    |    | Месяц    |    |    |
|                                                            |                | 10       | 11 | 12 | 01       | 02 | 03 |
| Месячная сумма осадков, мм                                 | —              |          |    |    |          |    |    |
| Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, % | I<br>II<br>III |          |    |    |          |    |    |
| Запасы воды в снеге на последний день декады, мм           | I<br>II<br>III |          |    |    |          |    |    |

Запасы воды в снеге, мм, на последний день декады:

$$H = 10hd, \quad (2)$$

где *h* — высота снега, см; *d* — плотность снега, г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 10.** Отклонения от многолетних значений температуры воздуха рассчитывают подобно таблице 7. Нужно только учитывать, что понятие выше (+) и ниже (—) многолетних относится в большинстве случаев к отрицательным температурам.

Число дней с оттепелью выбирают в том случае, если есть полный первичный материал метеостанции. Такой день определяют по максимальной температуре воздуха за сутки выше  $0^{\circ}\text{C}$  в течение зимы (период с температурой ниже  $0^{\circ}\text{C}$ ).

**10. Характеристика термических условий холодного сезона**

| Параметр                                                                           | Декада | Год _____   |    |    | Год _____   |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|----|----|-------------|----|----|
|                                                                                    |        | Месяц _____ |    |    | Месяц _____ |    |    |
|                                                                                    |        | 10          | 11 | 12 | 01          | 02 | 03 |
| Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | I      |             |    |    |             |    |    |
|                                                                                    | II     |             |    |    |             |    |    |
|                                                                                    | III    |             |    |    |             |    |    |
| Число дней с оттепелью (за месяц)                                                  |        |             |    |    |             |    |    |

**Таблица 11.** Обобщает агрометеорологические условия зимнего периода. За абсолютный минимум принята самая низкая температура воздуха. Находят по минимальным температурам в любой срок наблюдения.

**11. Агрометеорологическая характеристика зимнего периода (ноябрь — март)**

| Параметр                                                                            | Значение |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. Абсолютный минимум температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$                       |          |
| 2. Дата образования устойчивого снежного покрова                                    |          |
| 3. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом, сут                     |          |
| 4. Максимальная высота снежного покрова за зиму, см                                 |          |
| 5. Максимальные запасы воды в снеге, мм                                             |          |
| 6. Число дней с оттепелью                                                           |          |
| 7. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см), $^{\circ}\text{C}$ |          |
| 8. Наибольшая глубина промерзания почвы, см                                         |          |

Под номерами 2, 3, 4, 5 приводят основные характеристики снежного покрова. Число дней с оттепелью за зиму суммируют из месячных значений таблицы 10.

Минимальную температуру почвы на глубине залегания узла кущения (3 см) определяют косвенно по факторам, от которых она зависит: минимальной температуре воздуха и высоте снежного покрова, используя номограмму А. М. Шульгина (см. рис. 14.2).

П р и м е р. Минимальная температура воздуха —  $20^{\circ}\text{C}$ , высота снега на эту дату 10 см. Минимальная температура на глубине залегания узла кущения озимых составит —  $12^{\circ}\text{C}$ .

## ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОДА

(Рекомендации по составлению письменного отчета по практике)

**Холодный сезон.** 1. Сравнить с нормой ход температуры воздуха, даты перехода температуры ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и продолжительность холодного периода, а также выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова, окончания снеготаяния.

2. На основании полученных данных охарактеризовать зимний период и условия перезимовки зимующих культур с оценкой возможного их повреждения (вымерзание, выпревание). При этом используют соответствующие рисунки и таблицы (см. рис. 14.2, табл. 12).

**Теплый сезон.** 1. Отмечают по переходу температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  даты начала и окончания теплого сезона, его продолжительность. По датам перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  обозначают вегетационный период большинства сельскохозяйственных культур. Период активной вегетации приурочивают к переходу температуры через  $10^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность названных периодов сравнивают с климатической нормой.

2. Приводят наиболее выраженные отклонения средних декадных температур от нормы, выделяя тем самым периоды (сколько декад) потеплений и похолоданий (см. табл. 7).

3. Называют сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  по отдельным месяцам, накопившуюся к определенному времени (например, конец июня, июля или августа) и в целом за период активной вегетации в сравнении с нормой (см. табл. 7). Это дает основание оценить по обеспеченности теплом вегетационный период как более теплый или холодный, с недостаточным теплом или с избытком тепла и т. д.

4. Дают общую оценку обеспеченности теплом вегетационного периода и по отношению к ряду сельскохозяйственных культур, приведенных в таблице 14.

5. Сравнивают с нормой количество выпавших осадков, % (по декадно), и делают вывод об условиях увлажнения рассматриваемых периодов.

6. Оценивают по рассчитанному ГТК степень увлажненности по месяцам и в целом за вегетацию, используя критерии таблицы 15.

7. Дают характеристику условий уборки озимых (конец июля) и яровых (конец августа) по данным о недостатке насыщения, используя критерии таблицы 16.

8. Описывают неблагоприятные метеорологические условия теплого периода. Отмечают, когда в текущем году окончились заморозки весной и наступили осенью (даты), какова продолжительность беззаморозкового периода. Сравнивают с нормой по гидротермическому коэффициенту и недостатку осадков ( $ГТК \leq 0,6$ , осадков  $\leq 50$  % нормы), выделяют периоды засух.

Переувлажнением (особенно осенью) можно считать выпадение осадков 150...200 % нормы.

9. Анализируют возможное влияние метеорологических условий года на урожайность сельскохозяйственных культур.

10. Дают общую краткую характеристику агрометеорологических условий анализируемого года.

## НОРМАТИВНЫЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

### 12. Характеристика условий перезимовки

| Культура | Критическая температура на глубине угля<br>кушения, °С |
|----------|--------------------------------------------------------|
|----------|--------------------------------------------------------|

#### Вымерзание

|                |           |
|----------------|-----------|
| Озимая рожь    | -20...-22 |
| Озимая пшеница | -16...-18 |
| Озимый ячмень  | -12...-15 |
| Клевер         | -16...-20 |

**Выпревание** возможно при сочетании условий:

высота снежного покрова  $\geq 30$  см,  
глубина промерзания почвы  $\leq 50$  см,  
температура воздуха выше  $-5^\circ\text{C}$ ,  
продолжительность периода 3...4 декады.

### 13. Критические температуры для плодовых и citrusовых, °С

| Культура                    | Надземная часть<br>(по температуре воздуха) | Корневая система<br>(по температуре почвы) |
|-----------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Яблоня:                     |                                             |                                            |
| сибирские и уральские сорта | -45...-50                                   | -15...-18                                  |
| среднерусские сорта         | -35...-40                                   | -12...-15                                  |
| южные сорта                 | -30                                         | -10...-12                                  |
| Груша европейского сорта    | -25...-30                                   | -9...-10                                   |
| Вишня                       | -30                                         | -14...-15                                  |
| Черешня                     | -25...-30                                   | —                                          |
| Слива:                      |                                             |                                            |
| южная                       | -20...-30                                   | —                                          |
| уссурийская                 | -50                                         | —                                          |
| Абрикос                     | -25                                         | —                                          |
| Персик                      | -23...-25                                   | -10...-12                                  |
| Виноград, европейский сорт  | -12...-20                                   | -7...-9                                    |
| Цитрусовые:                 |                                             |                                            |
| мандарины                   | -10...-12                                   | —                                          |
| апельсины                   | -5...-7                                     | —                                          |
| лимоны                      | -4...-5                                     | -11                                        |
| Малина                      | —                                           | -8...-10                                   |
| Земляника                   | —                                           | -15...-16                                  |
| Смородина                   | —                                           | -18                                        |
| Крыжовник                   | —                                           | -18                                        |

### 14. Потребность в тепле сельскохозяйственных культур

| Культура       | Скороспелость сортов | Потребность культуры в тепле<br>( $\Sigma t_{\text{н}} > 10^\circ\text{C}$ ), °С |
|----------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Озимая рожь    | Среднеспелые         | 1350                                                                             |
|                | Позднеспелые         | 1400                                                                             |
| Озимая пшеница | Среднеспелые         | 1450                                                                             |
|                | Позднеспелые         | 1500                                                                             |
| Яровая пшеница | Раннеспелые          | 1400                                                                             |
|                | Среднеспелые         | 1500                                                                             |
| Ячмень         | Среднеспелые         | 1350                                                                             |
|                | Позднеспелые         | 1450                                                                             |
| Овес           | Среднеспелые         | 1450                                                                             |
|                | Позднеспелые         | 1550                                                                             |
| Горох          | Раннеспелые          | 1250                                                                             |
|                | Среднеспелые         | 1400                                                                             |
| Картофель      | Раннеспелые          | 1200                                                                             |
|                | Среднеспелые         | 1500                                                                             |
|                | Позднеспелые         | 1800                                                                             |
| Огурцы         | Раннеспелые:         |                                                                                  |
|                | до начала созревания | 800                                                                              |
|                | до полных сборов     | 1200                                                                             |
|                | Среднеспелые:        |                                                                                  |
|                | до начала созревания | 900                                                                              |
|                | до полных сборов     | 1300                                                                             |
| Томаты         | Раннеспелые:         |                                                                                  |
|                | до дозревания        | 900                                                                              |
|                | до красных плодов    | 1500                                                                             |

**15. Критерии увлажненности вегетационного периода по гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова (применительно к Нечерноземной зоне)**

| ГТК       | Характеристика увлажненности |
|-----------|------------------------------|
| >2,0      | Переувлажнение               |
| 1,5...2,0 | Достаточное увлажнение       |
| 1,3...1,5 | Близкое к среднему           |
| 0,7...1,3 | Недостаточное увлажнение     |
| <0,7      | Засушливые условия           |

**16. Критерии качества работы комбайнов при различных значениях дефицита насыщения**

| Дефицит насыщения водяного пара, гПа | Условия работы комбайнов |
|--------------------------------------|--------------------------|
| $d \geq 8$                           | Хорошие                  |
| $3 < d < 8$                          | Удовлетворительные       |
| $d \leq 3$                           | Плохие                   |

## АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

*Агроклиматические ресурсы* — совокупность агроклиматических условий, определяющих величину получаемой сельскохозяйственной продукции на конкретной территории.

*Агроклиматическое районирование* — деление территории по признаку соответствия агроклиматических ресурсов потребностям сельскохозяйственных растений.

*Агрометеорологические наблюдения* — параллельные наблюдения за метеорологическими элементами, ростом и развитием сельскохозяйственных растений, состоянием почвы и проводимыми агротехническими мероприятиями.

*Агрометеорологические условия* — сочетания агрометеорологических элементов в определенные интервалы времени.

*Агрометеорологический бюллетень* — периодическое издание, содержащее анализ и оценку сложившихся агрометеорологических условий за сутки, неделю, декаду, месяц, сезон.

*Агрометеорологический мониторинг* — система непрерывных агрометеорологических наблюдений.

*Агрометеорологический показатель* — количественное выражение агрометеорологических условий, характеризующих потребности сельскохозяйственных растений.

*Агрометеорологический элемент* — величина, характеризующая среду обитания и состояние сельскохозяйственных растений.

*Биологический минимум температуры* — минимальное значение температуры, являющееся началом жизнедеятельности сельскохозяйственных растений.

*Влажность устойчивого завядания* — количество воды в почве, при котором появляются необратимые признаки завядания растений.

*Гидрометеорологический элемент* — измеряемая физико-химическая величина, характеристика состояния или процесса в атмосфере, гидросфере, почве.

*Заморозок* — понижение температуры в приземном слое воздуха, на поверхности почвы или растений до 0 °С и ниже, наблюдаемое в вегетационный период при положительной средней суточной температуре воздуха.

*Запас продуктивной влаги в почве* — количество воды, выраженное в миллиметрах водного слоя, содержащегося в определенном слое почвы сверх влажности устойчивого завядания.

*Засуха атмосферная* — состояние атмосферы, характеризующееся недостаточным выпадением осадков, высокой температурой и пониженной влажностью, приводящее к образованию почвенной засухи.

*Засуха почвенная* — иссушение почвы, влекущее за собой недостаточную обеспеченность растений водой.

*Капиллярная влагоемкость почвы* — максимальное количество влаги, удерживаемой почвой над уровнем грунтовых вод капиллярными (менисковыми) силами.

*Корка ледяная высшая* — слой льда на поверхности почвы, под которым находится вода или воздух.

**Корка ледяная притертая** — слой льда, образовавшийся в результате замерзания воды, застоявшейся на почве, плотно прилегающий к ней, смерзшийся в одно целое с верхним переувлажненным слоем почвы.

**Коэффициент увлажнения** — отношение приходной части водного баланса к испаряемости за тот же период.

**Наименьшая влагоемкость почвы** — максимальное количество капиллярно-подвешенной влаги или максимальное количество воды, фактически удерживаемое почвой в природных условиях в состоянии равновесия, когда нет испарения и дополнительного притока воды.

**Общий запас влаги в почве** — суммарное количество воды, содержащееся в определенном слое почвы.

**Объемная масса почвы** — масса единицы объема сухой почвы ненарушенного сложения.

**Оттепель** — повышение максимальной температуры воздуха выше 0 °С зимой на фоне ранее установившихся отрицательных температур.

**Репрезентативность** — характеристика, показывающая агрометеорологический характер состояния почвы, приземного слоя воздуха и растительного покрова для определенной территории.

**Сумма активных температур** — показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растения.

**Сумма эффективных температур** — показатель, характеризующий количество тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры.

**Суммарное испарение** — испарение с деятельной поверхности, включая транспирацию растительного покрова.

**Суховей** — ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения воздуха влагой, вызывающий угнетение или гибель растений.

**Тепловой баланс деятельной поверхности** — алгебраическая сумма лучистой и тепловой энергии, получаемых и отдаваемых деятельной поверхностью за определенный интервал времени.

**Фазы развития растений** — последовательные этапы индивидуального развития растительных организмов от прорастания семени до отмирания растения, характеризующиеся определенными внешними (морфологическими) признаками.

## ЛИТЕРАТУРА

- Агроклиматические ресурсы области. Серия областных и региональных справочников. — Л.: Гидрометеониздат, 1970—1977.
- Агроклиматический справочник. Серия областных и региональных справочников. — Л.: Гидрометеониздат, 1958—1961.
- Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на Европейской части СССР. — М.: 1987. — 76 с.
- Атлас облаков/Под ред. А. Х. Хргиана, Н. И. Новожилова. — Л.: Гидрометеониздат, 1978. — 200 с.
- Верига С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага. — Л.: Гидрометеониздат, 1973. — 327 с.
- Голыцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. — Л.: Гидрометеониздат, 1961. — 198 с.
- Грингоф И. Г., Попова В. В., Страшный В. Н. Агрометеорология. — Л.: Гидрометеониздат, 1987. — 310 с.
- Давыдов Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. — М.: Гидрометеониздат, 1964. — 131 с.
- Исаев А. А. Экологическая климатология. — 2-е изд. — М.: Научный мир, 2003. — 472 с.
- Контриков А. С. Практикум по зоометеорологии. — М.: Изд. УДН, 1988. — 124 с.
- Лосев А. П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. — С.-Петербург: Гидрометеониздат, 1994. — 245 с.
- Лосев А. П., Журина Л. Л. Агрометеорология. — М.: Колос, 2001. — 301 с.
- Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — 639 с.
- Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 298 с.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. — Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 301 с.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1, 5-е изд. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. — М.: 2000. — 248 с.
- Павлова М. Д. Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 184 с.
- Пасечник Л. Е., Сенников В. А. Агроклиматическая оценка суховея и продуктивность яровой пшеницы. — Л.: Гидрометеониздат, 1983. — 128 с.
- Подальский А. С. Фенологический прогноз. — М.: Колос, 1974. — 287 с.
- Полевой А. Н. Сельскохозяйственная метеорология. — С.-Петербург: Гидрометеониздат, 1992. — 424 с.
- Психометрические таблицы. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — 270 с.
- Руководство по агрометеорологическим прогнозам. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 309 с.
- Сенников В. А., Ларин Л. Г., Стародубцев А. В., Коньков И. В. Агрометеороло-

гия. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. — М.: Изд. МСХА, 2000. — 38 с.

Сеников В. А., Ларин Л. Г., Белолобцев А. И., Коровина Л. Н. Агрометеорология. Методические указания к проведению учебной практики по агрометеорологии. — М.: Изд. МСХА, 2003. — 23 с.

Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии/Под ред. И. Г. Грингофа. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 528 с.

Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 432 с.

Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 392 с.

Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии. — С.-Петербург: Гидрометеоздат, 2002. — 472 с.

Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 302 с.

Уланова Е. С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 53 с.

Чирков Ю. И. Агрометеорология. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 293 с.

Шульгин А. М. Агрометеорология и климатология. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 200 с.

Шульгин И. А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. — М.: Изд. МГУ, 2004. — 141 с.

Янишевский Ю. Д. Актиполистрические приборы и методы наблюдений. — Л.: Гидрометеоздат, 1957. — 416 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Лабораторная работа 1. Наблюдения за солнечной радиацией</b>               | <b>3</b>  |
| Виды радиационных потоков в атмосфере. Единицы измерения                      | 3         |
| Фотосинтетически активная радиация (ФАР)                                      | 5         |
| Приборы и методы измерения радиационных потоков в атмосфере                   | 6         |
| Измерение рассеянной и суммарной радиации                                     | 9         |
| Измерение отраженной коротковолновой радиации и альbedo земной поверхности    | 12        |
| Измерение радиационного баланса                                               | 14        |
| Измерение продолжительности солнечного сияния                                 | 16        |
| Измерение освещенности                                                        | 19        |
| Порядок выполнения работы                                                     | 20        |
| <b>Лабораторная работа 2. Наблюдения за температурой почвы и воздуха</b>      | <b>23</b> |
| Измерение температуры почвы                                                   | 23        |
| Измерение температуры поверхности почвы                                       | 23        |
| Измерение температуры почвы на различных глубинах                             | 26        |
| Измерение глубины промерзания почвы                                           | 36        |
| Измерение температуры воздуха                                                 | 38        |
| Порядок выполнения работы                                                     | 43        |
| <b>Лабораторная работа 3. Наблюдения за влажностью воздуха</b>                | <b>46</b> |
| Порядок выполнения работы                                                     | 59        |
| <b>Лабораторная работа 4. Наблюдения за облачностью</b>                       | <b>62</b> |
| Конденсация водяного пара                                                     | 62        |
| Сублимация водяного пара                                                      | 62        |
| Облака (образование и наблюдения за ними)                                     | 63        |
| Порядок выполнения работы                                                     | 67        |
| <b>Лабораторная работа 5. Измерение осадков, снежного покрова и испарения</b> | <b>69</b> |
| Измерение осадков                                                             | 70        |
| Наблюдения за снежным покровом                                                | 76        |
| Измерение испарения                                                           | 80        |
| Порядок выполнения работы                                                     | 83        |
| <b>Лабораторная работа 6. Измерение атмосферного давления</b>                 | <b>85</b> |
| Методы измерения атмосферного давления                                        | 85        |
| Барометрическое нивелирование                                                 | 92        |
| Порядок выполнения работы                                                     | 93        |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Лабораторная работа 7. Наблюдения за ветром</b> .....                                               | 95  |
| Роза ветров .....                                                                                      | 103 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 103 |
| <b>Лабораторная работа 8. Агрометеорологические наблюдения</b> .....                                   | 106 |
| Виды и методы агрометеорологических наблюдений .....                                                   | 106 |
| Организация наблюдательных участков .....                                                              | 109 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 114 |
| <b>Лабораторная работа 9. Влажность почвы и методы ее измерения</b> .....                              | 115 |
| Визуальный метод определения влажности почвы .....                                                     | 115 |
| Термостатно-весовой метод определения влажности почвы .....                                            | 116 |
| Продуктивная влага в почве и ее измерение .....                                                        | 120 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 122 |
| <b>Лабораторная работа 10. Заморозки и их прогноз</b> .....                                            | 124 |
| Классификация сельскохозяйственных культур по их устойчивости к заморозкам .....                       | 126 |
| Предсказание (прогноз) заморозков .....                                                                | 127 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 131 |
| <b>Лабораторная работа 11. Агрометеорологическая оценка засух и суховея</b> .....                      | 133 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 136 |
| <b>Лабораторная работа 12. Оценка термических ресурсов вегетационного периода</b> .....                | 139 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 145 |
| <b>Лабораторная работа 13. Оценка условий увлажнения вегетационного периода (ресурсов влаги)</b> ..... | 147 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 154 |
| <b>Лабораторная работа 14. Оценка агрометеорологических условий перезимовки озимых культур</b> .....   | 156 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 163 |
| <b>Лабораторная работа 15. Прогноз обеспеченности теплом вегетационного периода</b> .....              | 165 |
| Методы прогноза теплообеспеченности вегетационного периода .....                                       | 166 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 169 |
| <b>Лабораторная работа 16. Прогноз запасов продуктивной влаги к началу полевых работ</b> .....         | 170 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 173 |
| <b>Лабораторная работа 17. Прогноз фаз развития полевых и плодовых растений</b> .....                  | 175 |
| Прогноз фаз развития зерновых культур .....                                                            | 175 |
| Прогноз сроков цветения плодовых культур .....                                                         | 179 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                        | 182 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Лабораторная работа 18. Прогноз перезимовки озимых зерновых культур</b> .....      | 184 |
| Прогноз вымерзания озимых зерновых культур .....                                      | 185 |
| Прогноз выпревания озимых зерновых культур .....                                      | 187 |
| Порядок выполнения работы .....                                                       | 188 |
| <b>Лабораторная работа 19. Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур</b> ..... | 190 |
| Прогноз урожайности озимой пшеницы .....                                              | 191 |
| Прогноз урожайности зерна кукурузы .....                                              | 193 |
| Порядок выполнения работы .....                                                       | 196 |
| <b>Учебная практика по агрометеорологии</b> .....                                     | 198 |
| Задание по оценке агрометеорологических условий года .....                            | 199 |
| Пояснения к расчетным характеристикам года .....                                      | 201 |
| Характеристика агрометеорологических условий года .....                               | 205 |
| Нормативные агрометеорологические показатели .....                                    | 206 |
| <b>Агрометеорологические термины</b> .....                                            | 209 |
| <b>Литература</b> .....                                                               | 211 |

Учебное издание

**Сенинников Валентин Алексеевич,  
Ларин Леонид Георгиевич,  
Белолюбцев Александр Иванович,  
Коровина Любовь Николаевна**

## **ПРАКТИКУМ ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

Учебное пособие для вузов

Художественный редактор *В. А. Чуракова*  
Компьютерная верстка *Т. Я. Белобородовой*  
Компьютерная графика *А. В. Замараева*  
Корректор *В. А. Луценко*

Сдано в набор 21.10.05. Подписано в печать 19.04.06. Формат 60×88 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,23.  
Изд. № 07. Тираж 2000 экз. Заказ № 1014

ООО «Издательство «КолосС», 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 17.  
Почтовый адрес: 129090, Москва, Астраханский пер., д. 8.  
Тел. (495) 680-99-86, тел./факс (495) 680-14-63, e-mail: koloss@koloss.ru,  
наш сайт: [www.koloss.ru](http://www.koloss.ru)

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП РМЭ  
«Марийский полиграфическо-издательский комбинат»,  
424000, г. Йошкар-Ола, ул. Комсомольская, 112

ISBN 5-9532-0391-8



9 785953 203913